



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

DESAIN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI DI SUMENEP DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

ADHITYA SATRIAWAN RAHARJO
NRP. 10111500000058

SATRIA KUSUMA
NRP. 10111500000090

DOSEN PEMBIMBING
Ir. SRIE SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC145501

**DESAIN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5
LANTAI DI SUMENEP DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH
(SRPMM)**

ADHITYA SATRIAWAN RAHARJO
NRP. 10111500000058

SATRIA KUSUMA
NRP. 10111500000090

DOSEN PEMBIMBING
Ir. SRIE SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018



APPLIED FINAL PROJECT - RC145501

REDESIGN OF 5 STORY OFFICE BUILDING IN SUMENEP USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM METHOD

ADHITYA SATRIAWAN RAHARJO
NRP. 10111500000058

SATRIA KUSUMA
NRP. 10111500000090

SUPERVISOR
Ir. SRIE SUBEKTI, MT.
NIP. 19560520 198903 2 001

DIPLOMA III PROGRAM OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL INFRASTRUCTURE ENGINEERING
FACULTY OF VOCATIONAL
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018

**DESAIN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5
LANTAI DI SUMENEP DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Ahli Madya

Pada

Program Studi Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Mahasiswa I



Mahasiswa II



ADHITYA SATRIAWAN RAHARJO

NRP. 10111500000058

SATRIA KUSUMA

NRP. 10111500000090

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :



16 JUL 2018

JULI 2018



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal :
5-7-2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Desain Ulang Gedung Perkantoran 5 Lantai di Sumenep dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)		
Nama Mahasiswa 1	Adhitya Satriawan	NRP	10111500000058
Nama Mahasiswa 2	Satria Kusuma	NRP	10111500000090
Dosen Pembimbing 1	Ir. Srie Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<i>ditk. Tugasan sentus pada balok dan pada pertemuan siku-siku pada sambungan pada kolom → Soran lantai Dada gambar di atas</i>	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001
	Afif Navir Revani, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001
	 Dr. Yuyun Tajunnisa, ST. MT NIP 19780201 200604 2 002
	- NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI			
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001	 Afif Navir Revani, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001	 Dr. Yuyun Tajunnisa, ST. MT NIP 19780201 200604 2 002	- NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Ir. Srie Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	- NIP -

**DESAIN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI
DI SUMENEP DENGAN METODE SISTEM RANGKA
PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

Mahasiswa 1 : Adhitya Satriawan Raharjo
NRP : 10111500000058

Mahasiswa 2 : Satria Kusuma
NRP : 10111500000090

Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil
Jurusan : Diploma III Teknik Sipil
Fakultas : Vokasi-ITS

Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, MT.
NIP : 19560520 198903 2 001

ABSTRAK

Gedung perkantoran The Royal Bussiness Park Surabaya terletak di Tambak Oso, Waru. Namun dalam tugas akhir ini, lokasi bangunan gedung direncanakan di Sumenep dan melakukan modifikasi atau desain ulang dengan mengurangi jumlah lantai dan beberapa elemen arsitektur. Berdasarkan data tanah, diketahui bahwa gedung dibangun di atas tanah dengan kondisi tanah sedang (kelas situs SD) dan kategori desain seismik C sehingga perhitungan perencanaan struktur menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM).

Perencanaan dan perhitungan beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen sesuai SNI 1726-2012 dan Peta Hazard Indonesia 2010. Perhitungan struktural menggunakan SNI 2847-2013 dan Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971. Perhitungan pembebanan gedung menggunakan SNI 1727-2013. Sedangkan untuk pemodelan menggunakan

program bantu SAP 2000 dan PCACOL. Bahan utama penyusun struktur adalah beton bertulang, dengan mengacu pada SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Gedung. Perencanaan struktur meliputi pelat, balok, kolom dan pondasi (pile cap). Selain perencanaan struktur, dalam Tugas Akhir ini juga membahas metode pelaksanaan untuk elemen balok dan pelat.

Hasil dari perencanaan struktur ini berupa gambar teknik yang terdiri dari gambar arsitektur, gambar denah struktur, dan gambar detail penulangan.

***Kata kunci : Gedung Perkantoran, Sistem Rangka Pemikul
Momen Menengah, Statik Ekuivalen***

REDESIGN OF 5 STORY OFFICE BUILDING IN SUMENEP USING INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM METHOD

Student 1 : Adhitya Satriawan Raharjo
NRP : 10111500000058

Student 2 : Satria Kusuma
NRP : 10111500000090

Department : Civil Infrastructure Engineering
Course : Diploma III of Civil Engineering
Faculty : Vokational-ITS

Supervisor : Ir. Srie Subekti, MT.
NIP : 19560520 198903 2 001

ABSTRACT

Office building of The Royal Bussiness Park Surabaya is located at Tambak Oso, Waru. Nevertheless in this final project, the building is planned to be located in Sumenep and having several modifications or redesign by eliminating the stories and some architectural elements. Based on the soil investigation, it is known that the building would stand on intermediate site (site class SD) and seismic design category of C. Thus, the structure planning is done by intermediate moment resisting frame system (SRPMM).

Planning and analysis of earthquake load uses equivalent static analysis based on SNI 1726-2012 and Indonesian Hazard Map 2010. Structural analysis is based on SNI 2847-2013 and PBI 1971. Load analysis is based on SNI 1727-2013. The modelling uses SAP 2000 and PCACOL.

The structure is reinforced concrete based on SNI 2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Gedung. Structure planning covers slab, beam, column and foundation (pile cap).

Besides, this final project also discusses about beam and slab implementation method.

The outputs of the structure planning is shop drawing which consists of architectural, structural and reinforcement detailing.

Keywords: Office Building, Intermediate Moment Resisting Frame System, Equivalent Static

KATA PENGANTAR

Puji syukur terpanjatkan kehadiran Allah S.W.T. atas segala limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad S.A.W., sehingga laporan tugas akhir ini dapat terselesaikan. Tersusunnya tugas akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu. Untuk itu disampaikan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, saudara-saudara tercinta, sebagai semangat, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil, terutama doa.
2. Bapak Machsus, ST., MT., Dr, selaku Ketua Program Studi Departemen Teknik Infrastruktur Sipil.
3. Ibu Ir. Srie Subekti, M.T selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu per satu, terima kasih atas bantuan dan saran selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Disadari bahwa dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu diharapkan terdapat kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan tugas akhir ini. Dan akhirnya kami berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Penyusun

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
BERITA ACARA	iv
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB II DASAR TEORI PERENCANAAN	5
2.1 Perubahan Desain	5
2.2 Peraturan yang Digunakan	5
2.3 Pembebanan.....	5
2.4 Kombinasi Pembebanan	13
2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen	14
2.6 Ketentuan Struktur untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)	14
2.6.1 Ketentuan Perhitungan Balok (SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)	16
2.6.2 Ketentuan Perhitungan Kolom	17
2.7 Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat.....	18
BAB III METODOLOGI	21
3.1 Pengumpulan Data	21
3.2 Studi Literatur.....	22
3.3 Flow Chart Metodologi	23
3.5 Preliminary Desain	23

3.5.1	Penentuan Dimensi Balok	23
3.5.2	Perencanaan Dimensi Kolom	23
3.5.3	Penentuan Dimensi Pelat	24
3.5.4	Preliminary Tangga	24
3.6	Perhitungan Pembebanan	24
3.6.1	Beban Mati	24
3.6.2	Beban Hidup	24
3.6.3	Beban Angin	24
3.6.4	Beban gempa	25
3.7	Analisa Gaya Dalam (M,N,D)	25
3.7.1	Analisa Gaya Dalam Pelat	25
3.7.2	Analisa Gaya Dalam Balok	25
3.7.3	Analisa Gaya Dalam Kolom	25
3.8	Perhitungan Struktur	26
3.8.1	Perhitungan Penulangan Struktur Primer	26
3.8.2	Perhitungan Penulangan Struktur Sekunder	37
3.8.3	Perhitungan Penulangan Struktur Pondasi	38
3.9	Gambar Rencana	40
3.9.1	Gambar Arsitektur	40
3.9.2	Gambar Potongan	41
3.9.3	Gambar Penulangan	41
3.9.4	Gambar Detail	41
3.8.5	Gambar Struktur	41
3.10	Metode Pelaksanaan	41
3.10.1	Flow Chart Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat	42
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN		43
4.1	Penentuan Sistem Struktur	43
4.2	<i>Preliminary Design</i>	48
4.2.1	Perencanaan Dimensi Balok	49
4.2.2	Perencanaan Dimensi Sloof	55
4.2.3	Perencanaan Dimensi Kolom	55
4.2.4	Perencanaan Dimensi Tangga	58
4.2.5	Perencanaan Dimensi Pelat Lantai	61
4.3	Perhitungan Pembebanan	67

4.3.1	Beban Pelat.....	67
4.3.2	Beban Dinding.....	70
4.3.3	Beban Angin.....	71
4.3.4	Beban Hujan.....	74
4.3.5	Beban Lift.....	75
4.3.6	Beban Gempa.....	77
4.4	Perhitungan Struktur.....	92
4.4.1	Pelat.....	92
4.4.2	Tangga dan Bordes.....	126
4.4.3	Balok.....	137
4.4.3.1	Balok Induk.....	137
4.4.3.2	Balok Anak.....	177
4.4.3.3	Balok Sloof.....	216
4.4.4	Kolom.....	256
4.4.5	Pondasi.....	290
4.4.6	Metode Pelaksanaan.....	301
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		311
5.1	Kesimpulan.....	311
5.2	Saran.....	320
DAFTAR PUSTAKA.....		321
LAMPIRAN.....		323
Lampiran 1.....		323
Lampiran 2.....		410
Lampiran 3.....		415
BIODATA PENULIS.....		421

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi situs	7
Tabel 2.2 Koefisien Situs, F_a	9
Tabel 2.3 Koefisien Situs, F_v	10
Tabel 2.4 Kategori Resiko	11
Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa.....	12
Tabel 2.6 Faktor R , C_d dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa	12
Tabel 4.1 Data Tanah N-SPT	43
Tabel 4.2 Kategori Resiko & faktor Keutamaan Gempa.....	44
Tabel 4.3 Parameter Nilai S_s dan S_1	44
Tabel 4.4 Koefisien Situs, F_a	45
Tabel 4.5 Koefisien Situs, F_v	45
Tabel 4.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek.....	46
Tabel 4.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik	46
Tabel 4.8 Beban Mati pada Pelat Atap.....	67
Tabel 4.9 Beban Hidup pada Pelat Atap.....	68
Tabel 4.10 Beban Mati pada Pelat Lantai 1-5	68
Tabel 4.11 Beban Hidup pada Pelat Lantai 1-5.....	68
Tabel 4.12 Beban Mati pada Pelat Tangga.....	69
Tabel 4.13 Beban Hidup pada Pelat Tangga	69
Tabel 4.14 Beban Mati pada Pelat Bordes	69
Tabel 4.15 Beban Hidup pada Pelat Bordes	70
Tabel 4.16 Pembebanan pada Elemen Dinding.....	70
Tabel 4.17 Koefisien Tekanan Dinding, C_p	73
Tabel 4.18 Rekapitulasi Beban Angin.....	74
Tabel 4.19 Spesifikasi Lift SIGMA.....	75
Tabel 4.20 Dimensi Lift SIGMA.....	75
Tabel 4.21 Data Tanah N-SPT	77
Tabel 4.22 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa	78
Tabel 4.23 Parameter Nilai S_s dan S_1	79

Tabel 4.24 Koefisien Situs, F_a	79
Tabel 4.25 Koefisien Situs, F_v	79
Tabel 4.26 Distribusi Vertikal Gaya Gempa	82
Tabel 4.27 Beban Gempa Per Kolom.....	82
Tabel 4.28 Beban Gempa Per Kolom Lantai 1.....	83
Tabel 4.29 Beban Gempa Per Kolom Lantai 2.....	84
Tabel 4.30 Beban Gempa Per Kolom Lantai 3.....	86
Tabel 4.31 Beban Gempa Per Kolom Lantai 4.....	88
Tabel 4.32 Beban Gempa Per Kolom Lantai 5.....	89
Tabel 4.33 Beban Gempa Per Kolom Lantai Atap.....	91
Tabel 4.34 Pembebanan pada Pelat S1	92
Tabel 4.35 Momen yang Terjadi pada Pelat S1	93
Tabel 4.36 Pembebanan pada Pelat S3'	105
Tabel 4.37 Momen yang Terjadi pada Pelat S3'	108
Tabel 4.38 Pembebanan Pada Pelat S1-A	109
Tabel 4.39 Momen yang Terjadi pada Pelat S1-A	110
Tabel 4.40 Pembebanan pada Pelat S3'-A	122
Tabel 4.41 Momen yang Terjadi pada Pelat S3'-A	125
Tabel 4.42 Beban Mati untuk Tangga	127
Tabel 4.43 Beban Mati untuk Bordes.....	127
Tabel 4.44 Beban Hidup untuk Tangga & Bordes	127
Tabel 4.45 Perhitungan Momen Tangga & Bordes	129
Tabel 4.46 Nilai Faktor α dan β	291
Tabel 4.47 Kebutuhan Tiang Pancang Tiap Titik	293
 Tabel 5.1 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai 1-5.....	 312
Tabel 5.2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Atap.....	312
Tabel 5.3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan Bordes ..	313
Tabel 5.4 Rekapitulasi Penulangan Balok.....	314
Tabel 5.5 Rekapitulasi Penulangan Kolom	315
Tabel 5.6 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Pancang Tiap Titik...	315
Tabel 5.7 Rekapitulasi Penulangan <i>Pile Cap</i>	318

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Respons Spektra Percepatan 0,2 Detik (S_s) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	8
Gambar 2.2 Peta Respons Spektra Percepatan 1,0 Detik (S_1) di Batuan Dasar (S_a) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	9
Gambar 2.3 Gaya Lintang Pada Balok Akibat Beban Gravitasi Terfaktor (SNI 03-2847-2013)	16
Gambar 2.4 Gaya Lintang Pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor (SNI 03-2847-2013)	16
 Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi.....	 23
Gambar 3.2 Flow Chart Penulangan Lentur Balok	27
Gambar 3.3 Flow Chart Penulangan Geser Balok.....	28
Gambar 3.4 Subroutine Menghitung Tulangan Torsi.....	31
Gambar 3.5 Flow Chart Menghitung Panjang Penyaluran Balok.....	32
Gambar 3.6 Flow Chart penulangan lentur sloof.....	33
Gambar 3.7 Flow Chart Penulangan Geser Sloof.....	34
Gambar 3.8 Flow Chart Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Sloof	35
Gambar 3.9 Flow Chart penulangan Kolom.....	36
Gambar 3.10 Flow Chart Penulangan Pelat.....	38
Gambar 3.11 Flow Chart penulangan pondasi tiang pancang	40
Gambar 3.12 Flow Chart Metode Pelaksanaan Balok Dan Pelat	42
 Gambar 4.1 Balok Bentang 10 Meter	 49
Gambar 4.2 Balok Bentang 9 Meter	50
Gambar 4.3 Balok Bentang 8 Meter	51
Gambar 4.4 Balok Bentang 10 Meter	52
Gambar 4.5 Balok Bentang 9 Meter	53
Gambar 4.6 Balok Bentang 8 Meter	54
Gambar 4.7 Denah Tangga.....	59
Gambar 4.8 Tebal dan Dimensi Tangga.....	59

Gambar 4.9 Perletakan pada Tangga.....	59
Gambar 4.10 Tebal Pelat yang Ditinjau	61
Gambar 4.11 Denah Arah Beban Angin (SNI 1727-2013)	73
Gambar 4.12 Dimensi Lift Merk SIGMA	76
Gambar 4.13 Momen Pelat 1 Arah.....	106
Gambar 4.14 Penulangan Pelat S3'	109
Gambar 4.15 Momen Pelat 1 Arah.....	123
Gambar 4.16 Penulangan Pelat S3-A	126
Gambar 4.17 Beban Merata pada Tangga & Bordes.....	128
Gambar 4.18 Arah Momen yang Terjadi pada Tangga & Bordes	130
Gambar 4.19 Hasil Perhitungan V_A dan V_B	131
Gambar 4.20 Jarak Momen Maksimal yang Terjadi	131
Gambar 4.21 Momen Maksimal yang Terjadi	132
Gambar 4.22 Momen Torsi Balok BI1	139
Gambar 4.23 Gaya Aksial Balok BI1	139
Gambar 4.24 Momen Lapangan dan Tumpuan Kanan Balok BI1	139
Gambar 4.25 Momen Lapangan dan Tumpuan Kanan Balok BI1	140
Gambar 4.26 Momen Tumpuan Kiri Balok BI1	140
Gambar 4.27 Gaya Geser Balok BI1	140
Gambar 4.28 Geser Desain untuk Balok	166
Gambar 4.29 Momen Torsi Balok BA1	178
Gambar 4.30 Gaya Aksial Balok BA1	179
Gambar 4.31 Momen Kiri dan Lapangan Balok BA1.....	179
Gambar 4.32 Momen Kanan Balok BA1	179
Gambar 4.33 Momen Kiri dan Lapangan Balok BA1.....	180
Gambar 4.34 Gaya Geser	180
Gambar 4.35 Desain Geser Balok	205
Gambar 4.36 Momen Torsi Balok BS.....	217
Gambar 4.37 Gaya Aksial Balok BS.....	217
Gambar 4.38 Momen Kanan dan Lapangan Balok BS	218
Gambar 4.39 Momen Kanan dan Lapangan Balok BS	218
Gambar 4.40 Momen Kiri Balok BS.....	218

Gambar 4.41 Gaya Geser Balok BS	219
Gambar 4.42 Desain Gaya Geser Balok.....	245
Gambar 4.43 Gaya Aksial 1,4D.....	257
Gambar 4.44 Gaya Aksial $1,2D + 1,6L + 0,5L_r$	258
Gambar 4.45 Gaya Aksial $1,2D + 1E_x + 0,3E_y + 1L$	258
Gambar 4.46 Gaya Aksial $1,2D + 1E_y + 0,3E_x + 1L$	258
Gambar 4.47 Momen Sb X $M_{1ns} 1D + 1L + 0,5 L_r$	259
Gambar 4.48 Momen Sb X $M_{2ns} 1D + 1L + 0,5 L_r$	259
Gambar 4.49 Momen Sb Y $M_{1ns} 1D + 1L + 0,5 L_r$	259
Gambar 4.50 Momen Sb Y $M_{2ns} 1D + 1L + 0,5 L_r$	259
Gambar 4.51 Momen Sb X $M_{1s} 1D + 1E_x + 0,3E_y + 1L$	260
Gambar 4.52 Momen Sb X $M_{2s} 1D + 1E_x + 0,3E_y + 1L$	260
Gambar 4.53 Momen Sb Y $M_{1s} 1D + 1E_y + 0,3E_x + 1L$	261
Gambar 4.54 Momen Sb Y $M_{2s} 1D + 1E_y + 0,3E_x + 1L$	261
Gambar 4.55 Nomogram	264
Gambar 4.56 Diagram Interaksi Kolom Arah X	267
Gambar 4.57 Diagram Interaksi Kolom Arah Y	275
Gambar 4.58 Output PCaCOL.....	281
Gambar 4.59 Output Diagram Interaksi PCaCOL.....	282
Gambar 4.60 Hasil Output PCaCOL	282
Gambar 4.61 Mnt dan Mnb Kolom dari PCaCOL	284
Gambar 4.62 Desain Geser Kolom.....	284
Gambar 4.63 Dimensi <i>Pile Cap</i> Tipe 3	295
Gambar 4.64 Potongan Dimensi <i>Pile Cap</i>	296
Gambar 4.65 Lokasi Geser Sekitar Kolom.....	297
Gambar 4.66 Lokasi Geser Sekitar Tiang Pancang	298
Gambar 4.67 Momen yang Terjadi pada <i>Pile Cap</i>	299
Gambar 4.68 Desain Tulangan <i>Pile Cap</i> Tipe 3.....	301
Gambar 4.69 Pengukuran Menggunakan <i>Theodolithe</i>	302
Gambar 4.70 Pembuatan Bekisting	302
Gambar 4.71 Pembesian di Los Besi.....	303
Gambar 4.72 <i>Scaffolding</i>	304
Gambar 4.73 <i>Scaffolding</i>	305
Gambar 4.74 Pembesian Balok di Lapangan.....	307
Gambar 4.75 Pembesian Pelat di Lapangan	308

Gambar 4.76 Proses Pengecoran menggunakan *Concrete Pump*
.....310

DAFTAR NOTASI

A_{cp}	=	Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton (mm^2)
A_g	=	Luas bruto penampang (mm^2)
A_p	=	Luas permukaan ujung tiang (m^2)
A_s'	=	Luas tulangan tekan (mm^2)
A_s	=	Luas selimut tiang (m^2)
A_s	=	Luas tulangan tarik longitudinal non-prategang (mm^2)
A_{sc}	=	Luas tulangan tarik utama dalam korbel atau brakit (<i>bracket</i>) (mm^2)
A_t	=	Luas satu kaki sengkang tertutup yang menahan torsi dalam spasi s (mm^2)
A_v	=	Luas tulangan geser yang berspasi s (mm^2)
b	=	Lebar muka tekan komponen struktur (mm)
b_o	=	Keliling penampang kritis untuk geser pada slab dan pondasi telapak (mm)
b_w	=	Lebar badan (mm)
C_s	=	Koefisien respons gempa
c_b	=	yang lebih kecil dari: (a) jarak dari pusat batang tulangan atau kawat ke permukaan beton terdekat, dan (b) setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan atau kawat yang disalurkan (mm)
d	=	Jarak dari sekat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal (mm)
d'	=	Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tekan longitudinal (mm)
db	=	Diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand (<i>strand</i>) prategang (mm)
E	=	Pengaruh gempa atau momen dan gaya yang terkait
F_a	=	Koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
F_i	=	Distribusi vertikal gaya gempa
F_v	=	Koefisien situs untuk perioda panjang

f_c'	= Kekuatan tekan beton yang disyaratkan (MPa)
f_s	= Tegangan tarik yang dihitung dalam tulangan saat beban layan (MPa)
f_s'	= Tegangan dalam tulangan tekan yang terkena beban terfaktor (MPa)
f_y	= Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan (MPa)
f_{yt}	= Kekuatan leleh tulangan transversal yang disyaratkan f_y (MPa)
h	= Tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur (mm)
h_n	= Ketinggian struktur bangunan gedung
I	= Momen inersia penampang terhadap sumbu pusat (mm^4)
I_c	= Faktor keutamaan
I_g	= Momen inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat, yang mengabaikan tulangan (mm^4)
k	= Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
k_{tr}	= indeks tulangan transversal
l	= Panjang bentang balok atau <i>slab</i> satu arah (mm)
l_d	= Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik (mm)
l_{dc}	= Panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir (mm)
l_{dh}	= Panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis (panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait [titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan) (mm)
l_n	= Panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan (mm)
l_o	= Panjang diukur dari muka joint sepanjang sumbu komponen struktur dimana tulangan transversal khusus harus disediakan (mm)

l_u	= Panjang tak tertumpu komponen struktur tekan (mm)
M_1	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen struktur tekan, diambil positif jika komponen struktur dibengkokkan dalam kurvatur tunggal, dan negatif jika dibengkokkan dalam kurvatur ganda (N.mm)
M_2	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen struktur tekan. Jika pembebanan transversal terjadi di antara tumpuan, M_2 diambil sebagai momen terbesar yang terjadi dalam komponen struktur. Nilai M_2 selalu positif (N.mm)
M_n	= Kekuatan lentur nominal pada penampang (N.mm)
M_{nb}	= Kekuatan lentur nominal balok termasuk pelat bilamana tertarik (N.mm)
M_{nc}	= Kekuatan lentur nominal kolom yang merangka ke dalam joint, yang dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kuat lentur yang terendah (N.mm)
M_o	= Momen statis terfaktor (N.mm)
M_u	= Momen terfaktor pada penampang (N.mm)
n	= Jumlah benda
N	= Nilai SPT pada ujung tiang
N_{av}	= Rata-rata nilai SPT sepanjang tiang
N_u	= Gaya aksial terfaktor tegak lurus terhadap penampang yang terjadi serentak dengan V_u atau T_u , diambil positif untuk tekan dan negatif untuk tarik (N)
P_c	= Beban tekuk kritis (N)
P_{cp}	= Keliling luar penampang beton (mm)
Ph	= Keliling garis pusat tulangan torsi transversal tertutup luar (mm)
P_u	= Gaya aksial terfaktor (N)
Q_p	= Daya dukung ujung tiang

Q_s	=	Daya dukung selimut tiang
Q_u	=	Daya dukung ultimate tiang (ton)
r	=	Radius girasi penampang komponen struktur tekan (mm)
R	=	Koefisien modifikasi respons
SF	=	Angka keamanan
S_s	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen.
S_1	=	Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
S_{DS}	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5 persen.
S_{D1}	=	Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5 persen.
S_{MS}	=	Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
S_{M1}	=	Parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
s	=	Spasi pusat ke pusat suatu benda (mm)
s_o	=	Spasi pusat ke pusat tulangan transversal dalam panjang l_o (mm)
T	=	Periode fundamental bangunan
T_n	=	Kekuatan momen torsi nominal (N.mm)
T_u	=	Momen torsi terfaktor pada penampang (N.mm)
T_a	=	Periode fundamental pendekatan
V	=	Geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau
V_c	=	Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh beton (N)
V_s	=	Kekuatan geser nominal yang disediakan oleh tulangan geser (N)
V_u	=	Gaya geser terfaktor pada penampang (N)
W	=	Berat seismik efektif bangunan

x	=	Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih pendek
y	=	Dimensi keseluruhan bagian persegi penampang yang lebih panjang
Ω_0	=	Faktor amplifikasi untuk memperhitungkan kekuatan lebih sistem penahan gaya seismik yang ditetapkan sesuai dengan tata cara bangunan gedung umum yang diadopsi secara legal
α_f	=	Rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar pelat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya (jika ada) pada setiap sisi balok
α_{fm}	=	Nilai rata-rata α_f
β	=	Rasio dimensi panjang terhadap pendek
β_1	=	Faktor yang menghubungkan tinggi balok tegangan tekan persegi ekuivalen dengan tinggi sumbu netral
λ	=	Faktor modifikasi yang merefleksikan properti mekanis tereduksi dari beton ringan
δ	=	Faktor pembesaran momen untuk mencerminkan pengaruh kurvatur komponen struktur antara ujung-ujung komponen struktur tekan.
Ψ_e	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada pelapis tulangan
Ψ_s	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada ukuran tulangan
Ψ_t	=	Faktor yang digunakan untuk memodifikasi panjang penyaluran berdasarkan pada lokasi tulangan
ρ	=	Rasio A_s terhadap bd

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bangunan gedung merupakan suatu konstruksi yang berfungsi sebagai lokasi berlangsungnya aktivitas sehari-hari seperti bekerja, ataupun tempat tinggal. Saat ini, manusia memerlukan bangunan yang kokoh dan dapat meminimalisir angka kerusakan akibat bencana.

Dalam tugas akhir ini, gedung yang akan direncanakan perhitungannya adalah Gedung Perkantoran *The Royal Business Park* Surabaya. Gedung Perkantoran *The Royal Business Park* Surabaya tersusun atas 8 lantai sesuai fisik yang dimiliki bangunan tersebut. Akan tetapi untuk keperluan Tugas Akhir Program DIII Departemen Teknik Infrastruktur Sipil akan direncanakan menjadi 5 lantai dan menggunakan struktur atap dari dek beton.

Dalam tugas akhir ini, penulis menggunakan peraturan SNI 03-2847-2013 (Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung) sebagai acuan dalam perhitungan struktur bangunan. Dalam perencanaan gedung ini, penulis mengambil tema perencanaan struktur dengan Metode Sistem rangka pemikul Momen Menengah (SRPMM) yang merupakan metode yang menitikberatkan perhitungan pada kegagalan struktur akibat keruntuhan geser. Untuk meminimalisir angka kerusakan akibat bencana pada bangunan gedung, penulis merencanakan bangunan gedung tahan gempa menggunakan SNI 1726:2012 (Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung), dan menggunakan metode statik ekuivalen.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merencanakan dan menghitung struktur Gedung Perkantoran 5 Lantai dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) ?

2. Bagaimana menuangkan hasil perhitungan struktur ke dalam gambar teknik ?
3. Bagaimana menjelaskan metode pelaksanaan pada elemen struktur balok dan pelat ?

1.3 Batasan Masalah

Didalam penyusunan Tugas Akhir ini yang menjadi batasan masalah dalam perencanaan struktur ini adalah :

1. Perencanaan struktur gedung ini tidak memperhitungkan anggaran biaya dalam segi struktur bangunan.
2. Perhitungan struktur gedung ini juga membahas metode pelaksanaan pada balok dan pelat lantai & atap.
3. Perencanaan bangunan meliputi :
 - Balok
 - Sloof
 - Kolom
 - Pelat dan tangga
 - *Pile cap* dan Pondasi Tiang Pancang
4. Perhitungan gempa menggunakan metode statik ekuivalen mengacu peraturan SNI Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012).
5. Portal yang dihitung penulangannya adalah satu portal memanjang dan satu portal melintang.

1.4 Tujuan

1. Dapat merencanakan dan menghitung struktur Gedung Perkantoran 5 Lantai dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Dapat menuangkan hasil perhitungan struktur ke dalam gambar teknik.
3. Dapat menjelaskan metode pelaksanaan pada elemen struktur balok dan pelat.

1.5 Manfaat

1. Mahasiswa dapat merencanakan dan menghitung struktur gedung bertingkat dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
2. Mahasiswa dapat merencanakan dan menghitung struktur gedung bertingkat yang sesuai dengan SNI 1726:2012 (Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan gedung dan Non Gedung), SNI 03-2847-2013 dan Peta Hazard Indonesia 2010.
3. Mahasiswa dapat menjelaskan metode pelaksanaan pada elemen struktur balok dan pelat.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

DASAR TEORI PERENCANAAN

2.1 Perubahan Desain

Perubahan bentuk asli bangunan dilakukan untuk menghargai desain yang telah direncanakan dan untuk menghindari penjiplakan dalam perencanaan. Dalam perubahan yang dilakukan pada perencanaan tugas akhir gedung Perkantoran ini dilakukan beberapa perubahan sebagai berikut :

- a. Pada gedung perkantoran di Sumenep ini memiliki 8 lantai yang dimodifikasi menjadi 5 lantai.
- b. Pada denah asli digunakan basement sebagai lokasi parkir dan pada perencanaan tugas akhir ini diubah menjadi tanpa basement dengan lokasi parkir di lantai dasar.

2.2 Peraturan yang Digunakan

1. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013)
2. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung (SNI 03-1726-2012)
3. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2013)
4. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983)

2.3 Pembebanan

Pada suatu struktur gedung mempunyai beban-beban yang dipikul oleh bangunan tersebut, baik beban tetap maupun tidak tetap. Dalam penentuan beban yang terjadi pada bangunan, menurut ketentuan dibedakan sebagai berikut :

1. Beban mati

Dalam menentukan beban mati struktur bangunan sebagai berikut :

- a. Beban mati pada pelat atap, terdiri dari:

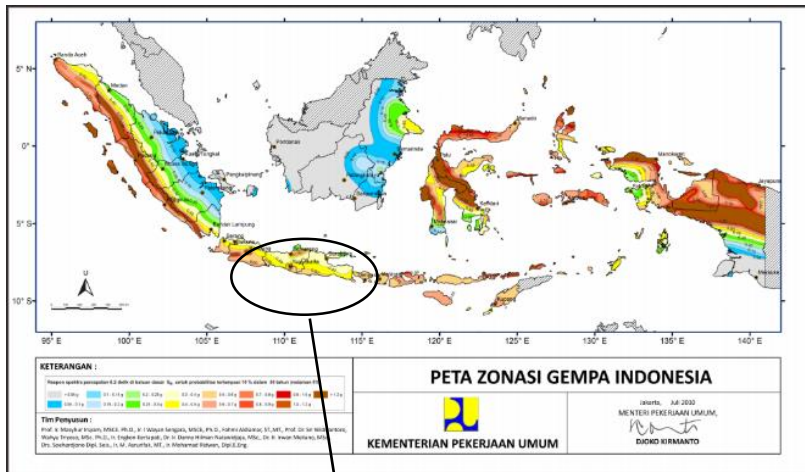
- Berat sendiri pelat
 - Beban plafond dan rangka
 - Instalasi listrik, AC, dan pengairan
- b. Beban mati pada pelat lantai, terdiri dari :
- Berat sendiri pelat
 - Beban pasangan keramik
 - Beban spesi
 - Beban plafond dan rangka
- c. Beban mati pada balok, terdiri dari :
- Berat sendiri balok
 - Beban mati pada pelat atap
 - Berat dinding setengah bata
2. Beban hidup
- Berdasarkan SNI 1727:2013 beban hidup untuk gedung perkantoran adalah :
- Beban hidup untuk lantai kantor = 2,4 KN/m²
 - Beban hidup untuk lantai atap = 0,96 KN/m²
3. Beban Gempa
- Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 10 persen.
- a. Perhitungan Gempa
1. Untuk perhitungan beban gempa digunakan data tanah SPT kemudian dilakukan perhitungan nilai SPT rata – rata (\bar{N}_{SPT}).
- $$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}}$$
2. Dari nilai \bar{N}_{SPT} dapat ditentukan Kelas Situs Tanah dengan tabel berikut :

Tabel 2.1 Klasifikasi situs

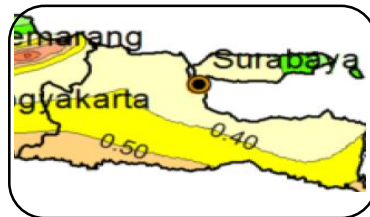
Kelas Situs	V_s (m/detik)	N atau N_{ch}	S_u (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras)	350 sampai 750	>50	≥ 100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	<175	<15	<50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks Plastis $PI > 20$ 2. kadar air, $w \geq 40\%$ 3. kuat geser nilai $S_u < 25$		
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifikasi dan analisis respons spesifik- situs yang mengikuti 6.10.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut : -Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitive, tanah tersementasi lemah -lempung sangat organis dan/atau gambut (ketebalan $H > 3m$) -lempug berplastis sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5 m$ dengan indeks plastisitas $PI > 75$) -Lapisan lempung lunak/setengah teguh dengan ketebalan $H > 35m$ dengan $S_u < 50$ kPa		

Sumber : SNI 03-1726-2012

3. Setelah mengetahui Kelas Situs Tanah, kemudian mencari nilai S_s dan S_1 berdasarkan **PETA HAZARD GEMPA INDONESIA 2010**.



Gambar 2. Rata respon spektra percepatan 0,2 detik (S_a) di batuan dasar (S_d) untuk probabilitas terlempaui 10% dalam 50 tahun



Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada periode pendek, T = 0,2 detik, S _s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0

SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 03-1726-2012

Tabel 2.3 Koefisien Situs, Fv

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE _R) terpetakan pada perioda pendek, T = 1 detik, S_I				
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber : SNI 03-1726-2012

- Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 0,2 detik (S_{MS}).

$$S_{MS} = F_a \times S_s$$

- Menentukan Parameter spektrum respons percepatan pada perioda 1 detik (S_{M1}).

$$S_{M1} = F_v \times S_1$$

- Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 0,2 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

- Parameter percepatan spektral desain untuk perioda 1 detik.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

- Kemudian menentukan besar periode (T) pada suatu bangunan.

$$T = C_t \times h_n^x$$

hn = Tinggi bangunan (m)

Ct = 0,0466

x = 0,9

10. Membuat Respon Spektrum Gempa

- Untuk perioda lebih kecil T_0 , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = S_{DS}$$

- Untuk perioda lebih besar T_s , spektrum respons percepatan desain :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

11. Menentukan Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I) struktur bangunan

Tabel 2.4 Kategori Resiko

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> - Perumahan ; rumah toko dan rumah kantor - Pasar - Gedung perkantoran - Gedung apartemen/ rumah susun - Pusat perbelanjaan/ mall - Bangunan industri - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Sumber : 03-1726-2012

Tabel 2.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (<i>I</i>)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber : SNI 03-1726-2012

12. Menentukan nilai Koefisien Modifikasi Respon (*R*).

Tabel 2.6 Faktor *R*, *C_d* dan Ω_0 untuk Sistem Penahan Gaya Gempa

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respon, <i>R</i>	Faktor Kuat- lebih sistem, Ω_0	Faktor Pembesaran Defleksi, <i>C_d</i>	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, <i>h_n</i> (m)				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D	E	F
6. Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber : SNI 03-1726-2012

13. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik (*V*)

$$V = C_s \times W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

Sehingga,

$$V = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \times W$$

14. Menghitung Gaya Geser Dasar Seismik per Lantai (*F*)

$$15. F_x = C_{vx} \times V$$

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k}$$

Sehingga,

$$F_x = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot h_i^k} \times V$$

Input ke dalam SAP 2000 gaya geser dasar seismik per lantai

4. Beban angin

Beban angin daerah jauh dari tepi laut diambil minimum 25 kg/m², sedangkan di laut dan tepi laut sampai sejauh 5 km dari pantai diambil minimum 40 kg/m². Terdapat dalam peraturan pembebanan indonesia untuk gedung (PPIUG) 1983.

2.4 Kombinasi Pembebanan

Struktur harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor dengan kombinasi-kombinasi sebagai berikut yang mengacu pada tata cara perencanaan gempa SNI 1726:2012 :

1. 1,4 D
2. 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr atau R)
3. 1,2 D + 1,6 L (Lr atau R) + (L atau 0,5 W)
4. 1,2 D + 1 E + L
5. 0,9 D + 1 E

Keterangan :

- D adalah beban mati yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, partisi tetap, tangga, dan peralatan tetap

- L adalah beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain

Lr adalah beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak

R adalah beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air

E adalah beban akibat gempa.

2.5 Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah suatu sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

Dalam perencanaan bangunan tahan gempa, telah ditetapkan dalam standart Nasional Indonesia Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, bahwa sistem rangka pemikul momen dibagi dalam 3 kelas yaitu :

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.
2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B , dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, D, E, dan F.

2.6 Ketentuan Struktur untuk Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)

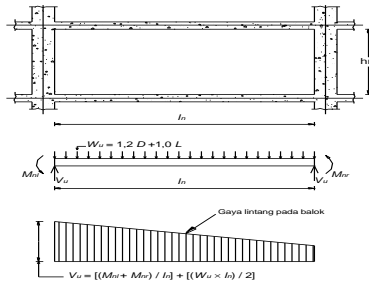
Prinsip dari SRPMM yaitu:

1. Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur.
 - Keruntuhan geser bersifat mendadak (tidak memberi kesempatan penghuni untuk menyelamatkan diri) => harus dihindari
 - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasar kapasitas tulangan lentur terpasang (bukan dari hasil analisa struktur)
 - Balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur
2. *Strong column weak beam* (Kolom kuat balok lemah)
 - Kerusakan dipaksakan terjadi pada balok

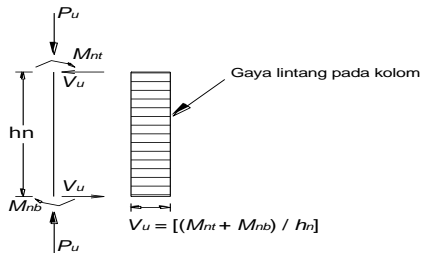
- Hubungan Balok Kolom harus didesain sesuai persyaratan gempa.

Untuk mencapai prinsip-prinsip di atas, bangunan harus di desain sesuai dengan ketentuan struktur SRPMM. Ketentuan dan perumusan menurut SNI -03-2847-2013 yaitu:

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 23.10.4, bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi ($A_{gc}'/10$). Bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi ($A_{gc}'/10$), maka pasal 23.10.5 harus dipenuhi.. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi pasal 23.10.6.
2. Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:
 - a. Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor (Gambar 3 dan Gambar 4), atau



Gambar 2.3 Gaya Lintang Pada Balok Akibat Beban Gravitasi Terfaktor (SNI 03-2847-2013)



Gambar 2.4 Gaya Lintang Pada Kolom Akibat Beban Gravitasi Terfaktor (SNI 03-2847-2013)

- b. Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa, E , dimana nilai E diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

2.6.1 Ketentuan Perhitungan Balok (SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.4)

- a. Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan

momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

- b. Pada kedua ujung balok, sengkang harus disediakan sepanjang panjang tidak kurang dari $2h$ diukur dari muka komponen struktur penumpu ke arah tengah bentang.

*Sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Spasi sengkang tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):

- a) $d/4$;
 - b) Delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi;
 - c) 24 kali diameter batang tulangan sengkang;
 - d) 300 mm.
- c. Sengkang harus dispasikan tidak lebih dari $d/2$ sepanjang panjang balok.

2.6.2 Ketentuan Perhitungan Kolom

1. Pada kedua ujung kolom, sengkang harus disediakan dengan spasi s_o sepanjang panjang L_o diukur dari muka joint. Spasi s_o tidak boleh melebihi yang terkecil dari (a), (b), (c), dan (d):
 - a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
 - b. 24 kali diameter tulangan begel
 - c. Setengah dimensi penampang kolom terkecil
 - d. 300 mm

Panjang L_o tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut (e), (f), dan (g):

- e. Seperenam tinggi bersih kolom
 - f. Dimensi terbesar penampang kolom
 - g. 500 mm
2. Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari $s_o/2$ dari mukajoint.

3. Di luar panjang L_o , spasi tulangan transversal harus memenuhi 7.10 dan 11.4.5.14.

Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi, s_o , seperti didefinisikan dalam 21.3.5.2 sepanjang tinggi penuh di bawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur ini terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi $Agfc'/10$. Bila gaya desain harus diperbesar untuk memperhitungkan kekuatan lebih elemen vertikal sistem penahan gaya gempa, batas $Agfc'/10$ harus ditingkatkan menjadi $Agfc'/4$. Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom seperti yang disyaratkan dalam 21.6.4.6 (b).

2.7 Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat

Pekerjaan pembuatan balok dan pelat menggunakan metode *cast in situ*, yaitu pekerjaan pembuatannya langsung di lokasi proyek.

Berikut adalah rangkaian kegiatan pada pekerjaan balok dan pelat

1. Persiapan
Meliputi Pembuatan dan pengajuan gambar shop drawing, Persiapan material kerja, Persiapan alat bantu kerja
2. Pengukuran
Meliputi pengukuran dan marking area untuk titik penempatan, ukuran (dimensi) serta leveling dari balok dan pelat
3. Fabrikasi besi tulangan
Proses fabrikasi tulangan merupakan proses merakit tulangan yang telah dipotong dan dibengkokkan menjadi satu kesatuan tulangan balok maupun tulangan pelat
4. Fabrikasi bekisting

Bekisting harus didesain dan dibuat dengan kekakuan dan keakurasian sehingga bentuk, ukuran, posisi, dan penyelesaian dari pengecoran dapat dilaksanakan sesuai dengan perencanaan.

5. Pengecoran beton

Setelah tulangan dan bekisting selesai dibuat langkah selanjutnya adalah penuangan *ready mix* pada bekisting yang telah disiapkan.

6. Curring beton

Setelah dilaksanakan pengecoran, maka untuk menjaga agar mutu beton tetap terjaga dilakukan perawatan beton. Perawatan beton yang dilakukan adalah dengan menyiram/membasahi beton 2 kali sehari selama 1 minggu.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

Langkah-langkah dalam Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Perkantoran 5 Lantai di Sumenep dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan dan pencarian data untuk keperluan disain gedung, meliputi:

a. Data Gambar

Pengumpulan gambar rencana diperoleh gambar struktur dan arsitektur. Dimana nantinya gambar rencana tersebut digunakan untuk menentukan dimensi komponen – komponen struktur gedung.

b. Data Perencanaan

➤ Data Umum Bangunan

- Nama Gedung : Gedung Perkantoran
- Lokasi : Surabaya
- Luas Bangunan : $\pm 13.005 \text{ m}^2$
- Tinggi Bangunan : 21,15 m

➤ Data Bahan

- Mutu beton (f_c') : 30 Mpa
- Baja Tulangan Lentur (f_y) : 400 Mpa
- Baja Tulangan Geser (f_{ys}) : 400 Mpa

c. Data tanah serta perhitungan untuk perencanaan sebagaimana terlampir pada Lampiran 1.

d. Peraturan- peraturan dan buku penunjang lain sebagai dasar teori

- Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung (**SNI 2847-2013**)
- Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung (**SNI 1726-2012**)
- Peta *Hazard* Gempa Indonesia 2010

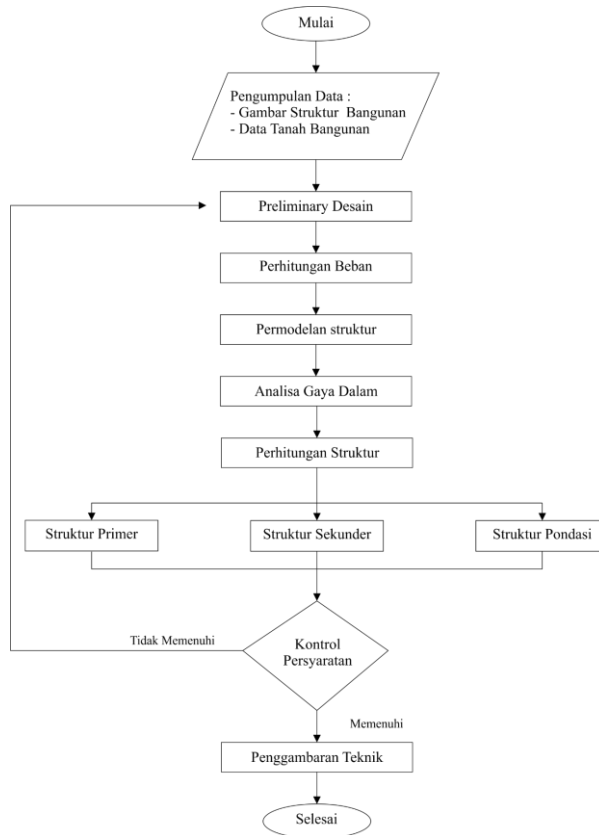
- Peraturan Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (**SNI 1727-2013**)
- e. Literatur dari beberapa sumber seperti buku penunjang dan peraturan perencanaan.

3.2 Studi Literatur

Mempelajari literatur yang berkaitan dengan perancangan dan peraturan-peraturan yang dipakai pada perencanaan struktur gedung, antara lain:

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2013).
2. Badan Standarisasi Nasional. 2012. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung (SNI 1726-2012).
3. Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013).
4. Iswandi Imran dan Fajar Hendrik. 2014. Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang. Bandung: ITB

3.3 Flow Chart Metodologi



Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi

3.5 Preliminary Desain

3.5.1 Penentuan Dimensi Balok

Perencanaan lebar efektif balok sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 8.12

3.5.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Perencanaan dimensi kolom sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 8.10

3.5.3 Penentuan Dimensi Pelat

- a. Perencanaan pelat satu arah sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 9.5
- b. Perencanaan pelat dua arah sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 9.5
- c. Analisa gaya pada pelat sesuai dengan hasil output SAP 2000
- d. Penulangan pelat sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 7
- e. Penulangan susut pada suhu sesuai dengan SNI 2847- 2013 Pasal 7.12

3.5.4 Preliminary Tangga

Perencanaan tangga sesuai dengan acuan dan peraturan yang ada.

3.6 Perhitungan Pembebanan

3.6.1 Beban Mati

Menurut SNI 1727-2013, beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya.

3.6.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727-2013, beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

3.6.3 Beban Angin

Perhitungan beban angin mengacu berdasarkan SNI 1727-2013, dimana ditentukan dengan menganggap adanya tekanan positif dan tekanan negatif (berupa angin hisap), yang bekerja tegak lurus pada bidang-bidang yang ditinjau. Besarnya tekanan

positif dan negatif ini dinyatakan dalam satuan gaya per luas bidang.

3.6.4 Beban gempa

- a. Analisa beban gempa.
- b. Perhitungan gaya gempa menggunakan metode statik ekuivalen yang mengacu SNI 1726-2012.
- c. Input gaya gempa menggunakan program bantu SAP 2000.

3.7 Analisa Gaya Dalam (M,N,D)

3.7.1 Analisa Gaya Dalam Pelat

Untuk perhitungan momen yang terjadi pada pelat berdasarkan pada tabel 13.3.1 dan 13.3.2 pada SNI 2847-2013.

3.7.2 Analisa Gaya Dalam Balok

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada balok menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14.

3.7.3 Analisa Gaya Dalam Kolom

Untuk membantu dalam perhitungan gaya dalam yang terjadi pada kolom, menggunakan program bantu yakni SAP 2000 v.14 dan PCACOL 4.5.

Untuk Analisa struktur tangga dihitung secara terpisah dari struktur utama. Kemudian reaksi perletakannya ditransfer sebagai beban pada struktur utama.

Nilai kombinasi yang digunakan sebagai Analisa adalah :

- 1,4 D
- 1,0 DL + 1,0 LL
- 1,2 DL + 1,6 LL
- 1,2 DL + 1,0 LL \pm 1,0 Ex
- 1,2 DL + 1,0 LL \pm 1,0 Ey
- 0,9 DL \pm 1,0 Ex
- 0,9 DL \pm 1,0 Ey

Keterangan :

DL : Beban mati

LL : Beban hidup

W : Beban angin

Ex : Beban gempa respons spectrum (beban gempa dominan arah x)

Ey : Beban gempa respons spectrum (beban gempa dominan arah y)

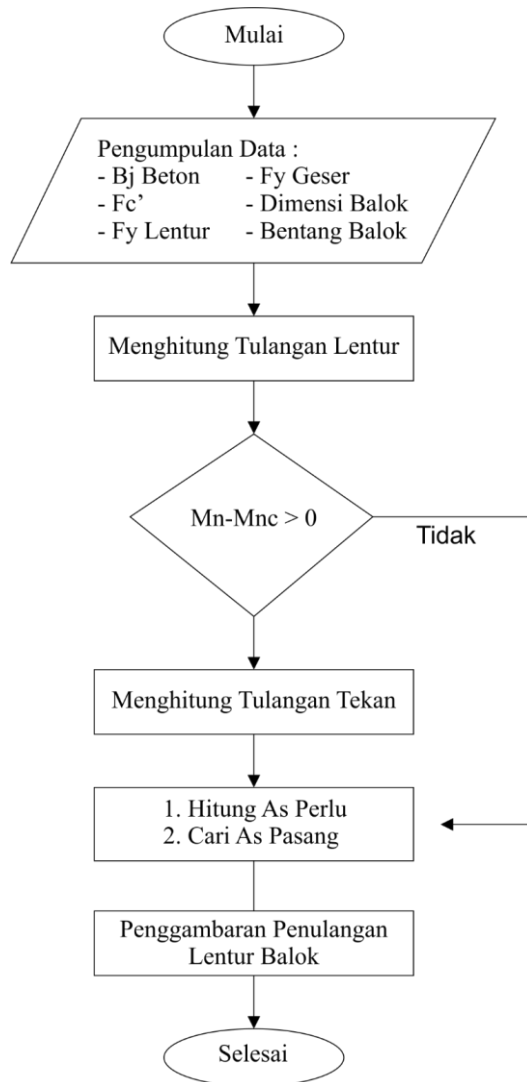
3.8 Perhitungan Struktur

Komponen-komponen struktur di desain sesuai dengan aturan yang terdapat pada SNI 1726- 2012. Perhitungan meliputi:

1. Output SAP 2000 yang berupa momen lentur (M), momen torsi (T), gaya aksial (P) dan gaya geser (D).
2. Perhitungan penulangan geser, lentur, dan punter pada semua komponen struktur utama
3. Kontrol perhitungan penulangan
4. Membuat table penulangan yang terpakai pada elemen struktur yang di hitung (struktur atas dan struktur bawah)
5. Gambar detail penulangan

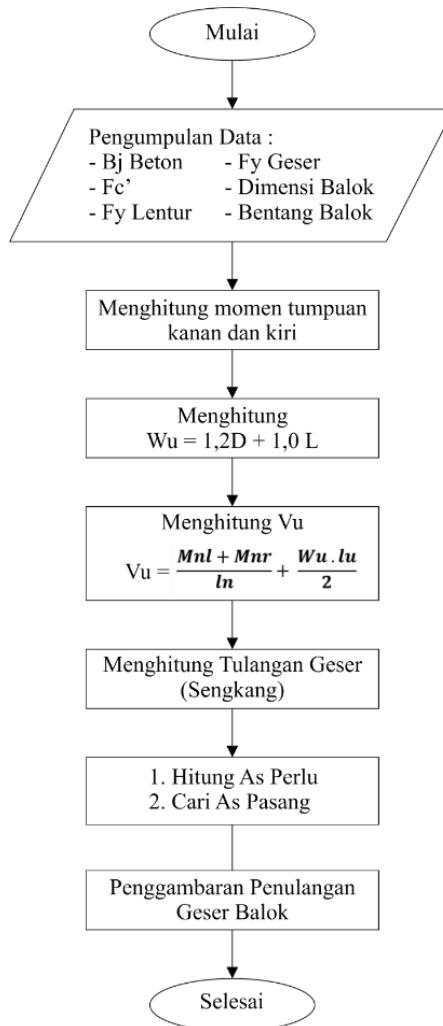
3.8.1 Perhitungan Penulangan Struktur Primer

- 1) Penulangan Balok
 - Menghitung tulangan lentur



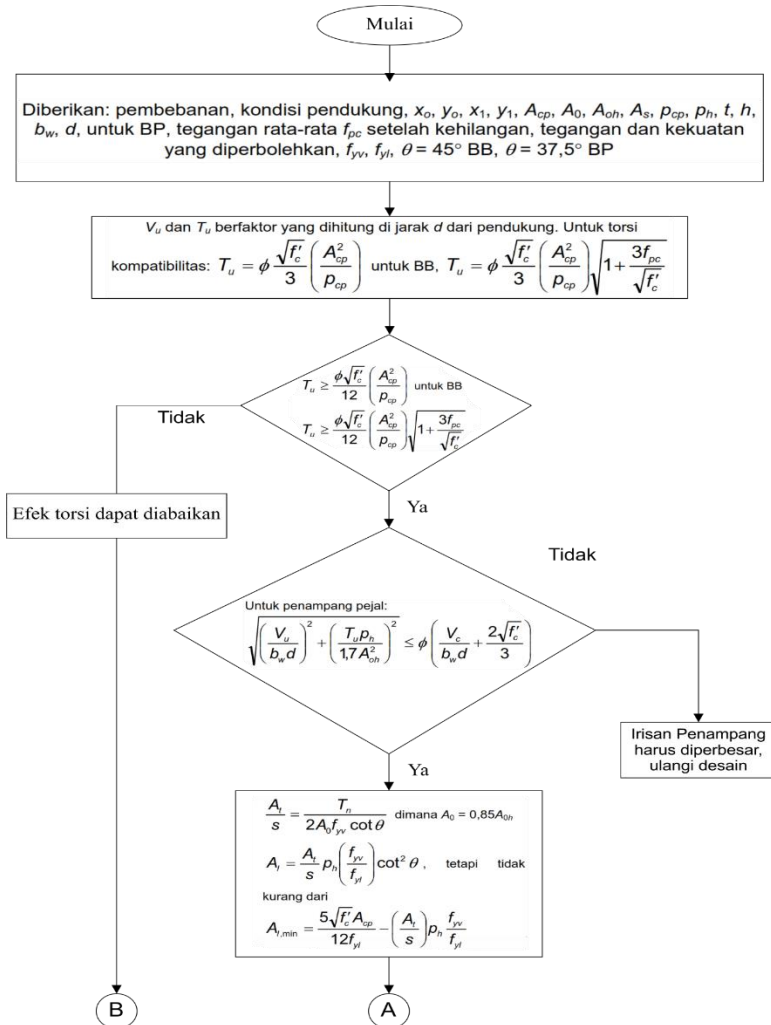
Gambar 3.2 Flow Chart Penulangan Lentur Balok

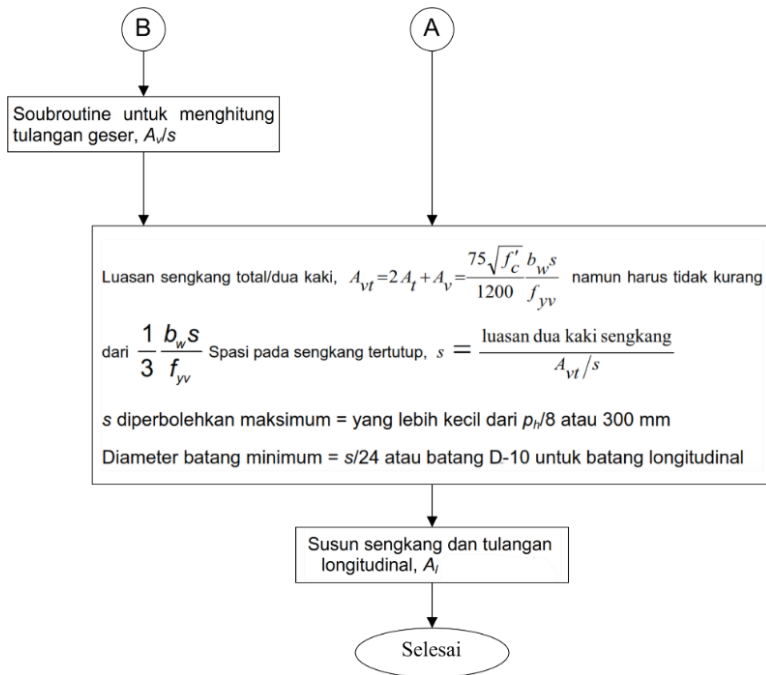
- Menghitung tulangan geser



Gambar 3.3 Flow Chart Penulangan Geser Balok

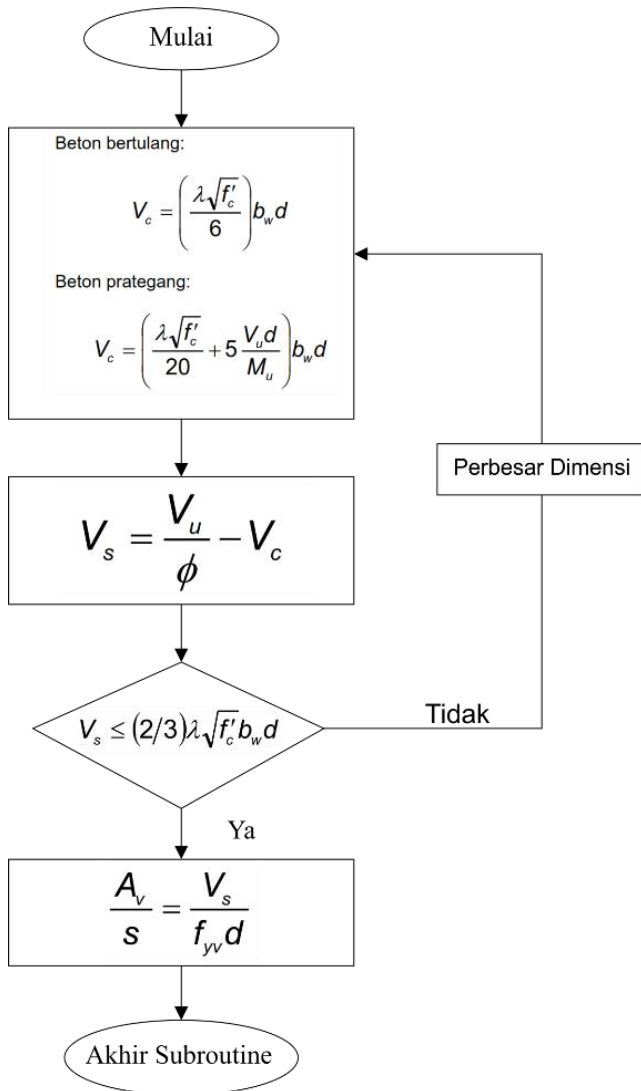
- Menghitung tulangan Torsi





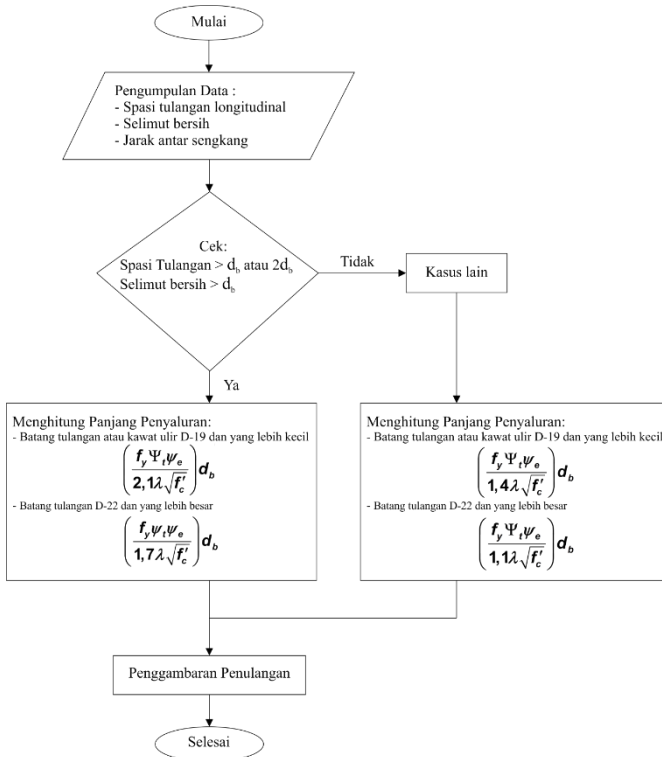
Gambar 1. Flow Chart Penulangan Torsi Balok

- Soubroutine



Gambar 3.4 Soubroutine Menghitung Tulangan Torsi

- Menghitung Panjang penyaluran tulangan

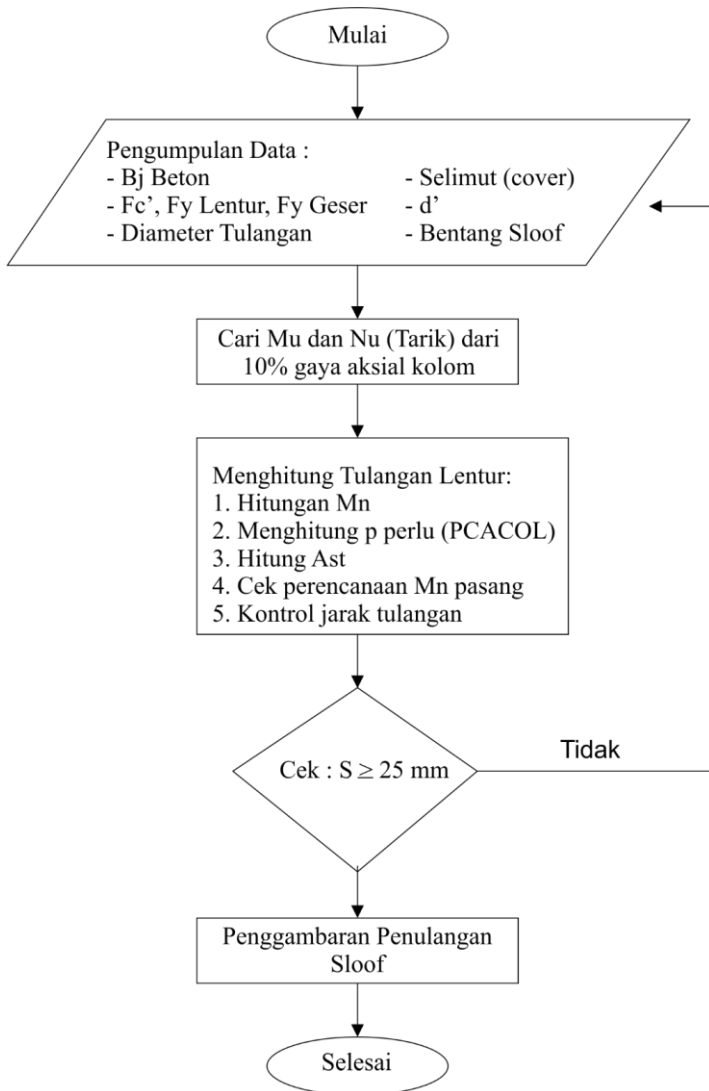


Gambar 3.5 Flow Chart Menghitung Panjang Penyaluran Balok

2) Penulangan Sloof

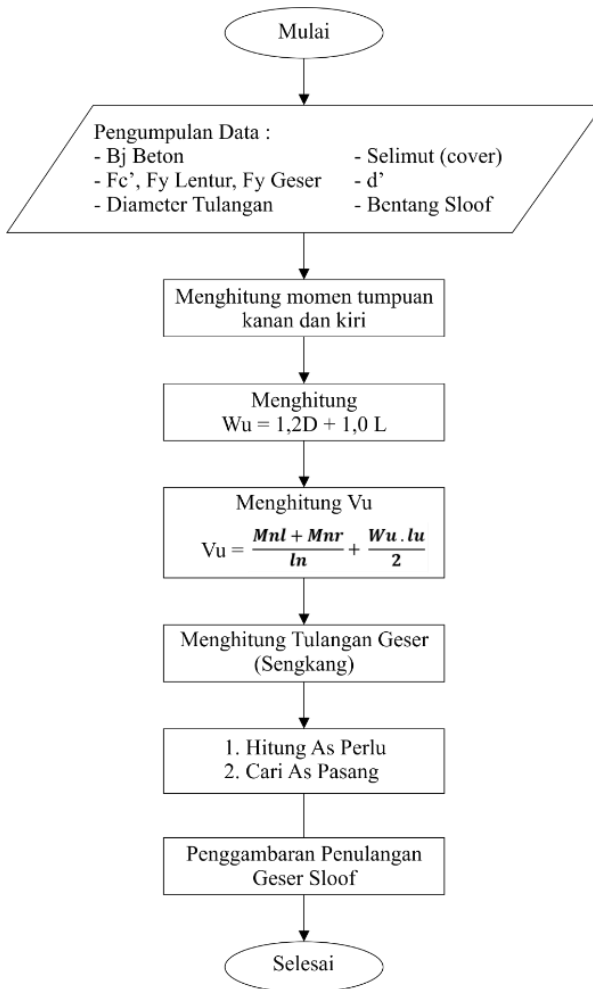
Gaya tarik yng menjadi sloof sama dengan gaya yang terjadi pada balok, namun sloof memeiliki gaya aksial tarik.

- Menghitung tulangan lentur



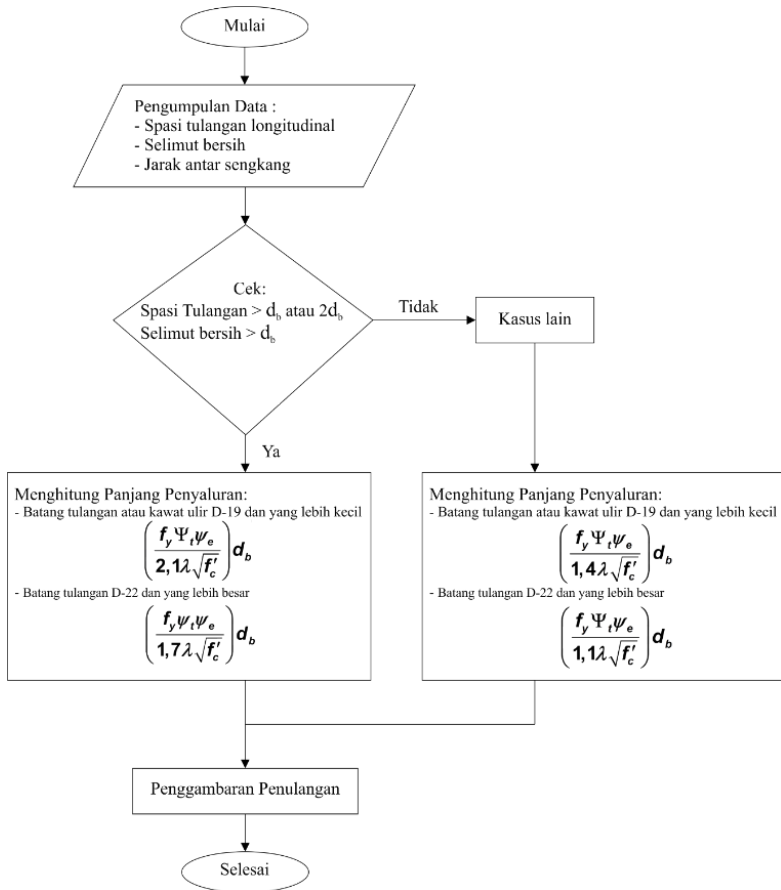
Gambar 3.6 Flow Chart penulangan lentur sloof

- Penulangan geser sloof



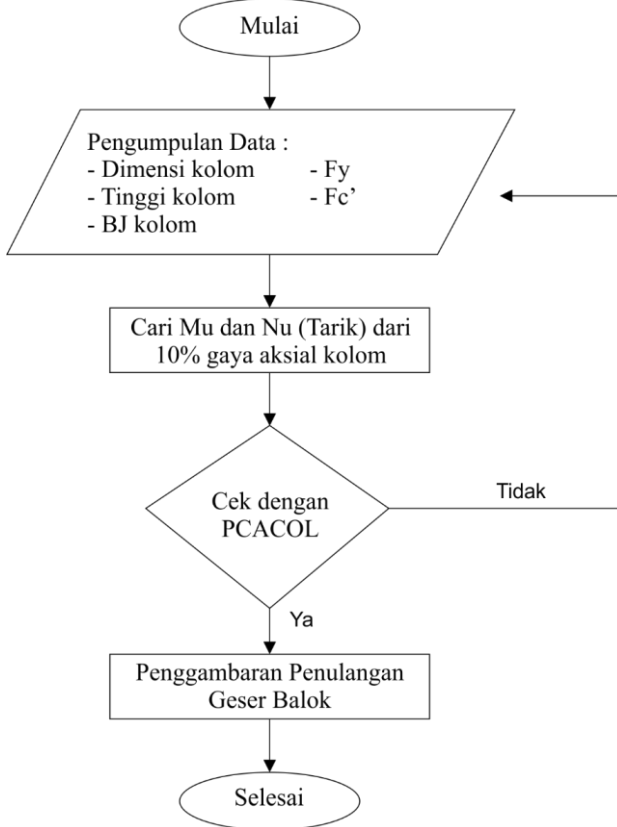
Gambar 3.7 Flow Chart Penulangan Geser Sloof

- Menghitung Panjang penyaluran tulangan sloof



Gambar 3.8 Flow Chart Perhitungan Panjang Penyaluran Tulangan Sloof

3) Penulangan Kolom



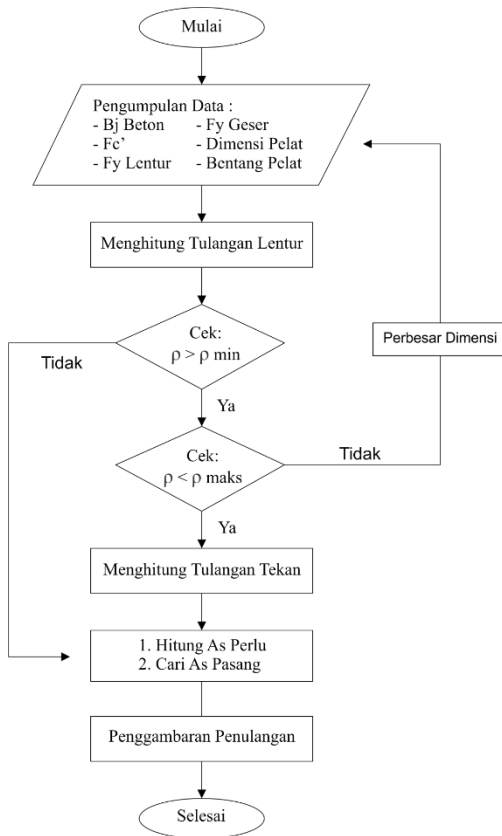
Gambar 3.9 Flow Chart penulangan Kolom

- Menghitung kontrol kelangsingan kolom
- Menghitung pembesaran momen
- Menghitung penulangan lentur
- Menghitung kontrol kemampuan kolom
- Menghitung penulangan geser
- Menghitung jarak spasi tulangan pada kolom

3.8.2 Perhitungan Penulangan Struktur Sekunder

Langkah-langkah dalam menghitung penulangan pada struktur pelat lantai, pelat tangga, dan pelat atap adalah sebagai berikut:

- Menganalisa struktur pelat
- Menghitung kebutuhan penulangan pelat
- Mengontrol jarak spasi tulangan
- Mengontrol tulangan susut



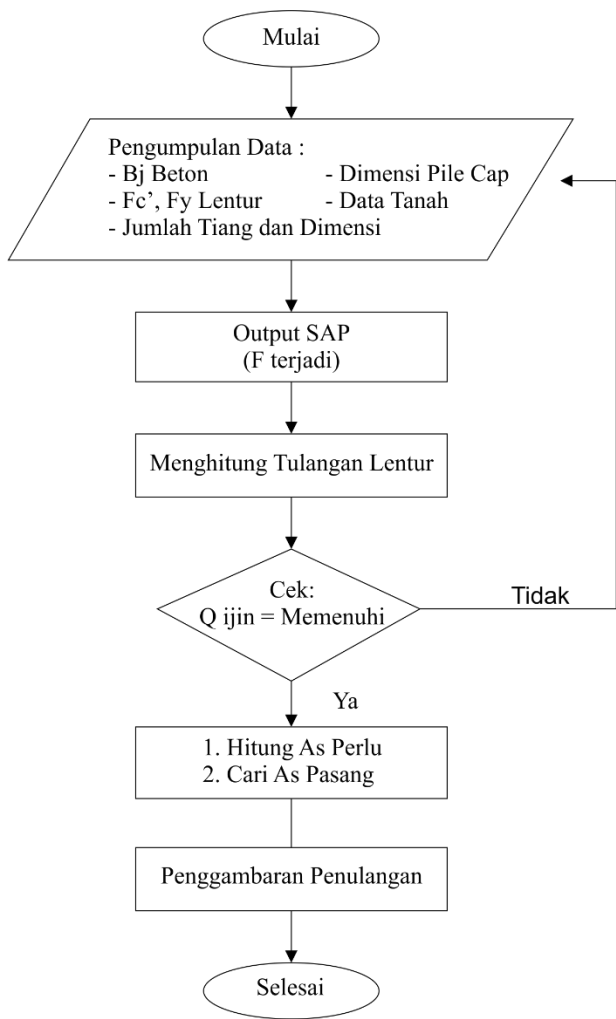
Gambar 3.10 Flow Chart Penulangan Pelat

3.8.3 Perhitungan Penulangan Struktur Pondasi

Adapun langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan dimensi pondasi adalah sebagai berikut:

- 1) Mengetahui data-data perencanaan
 - Kedalaman tiang pancang (h)
 - Diameter tiang pancang (d)
 - Keliling tiang pancang (K_{tp})

- Luas penampang tiang pancang (A_{tp})
 - Luas Slimut tiang pancang (A_s)
 - Tebal selimut beton
 - Mutu beton pada poer (f_c')
 - Mutu baja pada poer (f_y)
- 2) Menghitung daya dukung tanah
 - 3) Merencanakan tiang pancang
 - 4) Merencanakan kelompok tiang pancang perhitungan pile
 - 5) Merencanakan pilecap (poer) meliputi
 - Penulangan lentur poer
 - Penulangan geser poer
 - 6) Menghitung panjang penyaluran tulangan kolom
 - 7) Kontrol geser poer



Gambar 3.11 Flow Chart penulangan pondasi tiang pancang

3.9 Gambar Rencana
3.9.1 Gambar Arsitektur
a. Gambar denah

- b. Gambar tampak

3.9.2 Gambar Potongan

- a. Potongan memanjang
- b. Potongan melintang

3.9.3 Gambar Penulangan

- a. Gambar penulangan pelat
- b. Gambar penulangan tangga
- c. Gambar penulangan balok
- d. Gambar penulangan kolom
- e. Gambar penulangan sloof

3.9.4 Gambar Detail

- a. Gambar detail panjang penyaluran
 - Panjang penyaluran plat lantai
 - Panjang penyaluran plat tangga
 - Panjang penyaluran balok
 - Panjang penyaluran kolom

3.8.5 Gambar Struktur

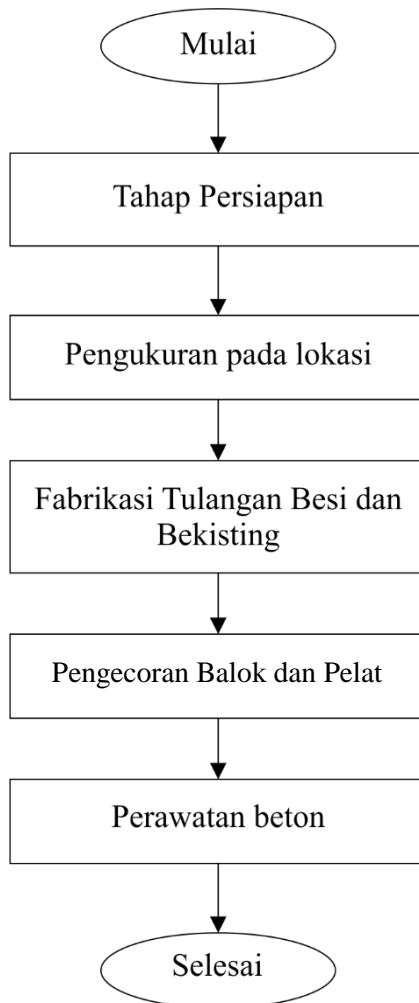
- a. Gambar balok
- b. Gambar kolom
- c. Gambar sloof

3.10 Metode Pelaksanaan

Dalam tugas akhir ini fabrikasi besi kolom dan balok direncanakan dilakukan di dalam site, maka metode pelaksanaan yang akan dibahas meliputi pembuatan dan pemasangan elemen kolom dan balok. Alat-alat yang digunakan untuk pelaksanaan pekerjaan tersebut antara lain:

1. *Mobile crane*
2. *Truck mixer*
3. *Concrete bucket*
4. *Vibrator*
5. *Bar cutter*
6. *Bar bender*

3.10.1 Flow Chart Metode Pelaksanaan Balok dan Pelat



Gambar 3.12 Flow Chart Metode Pelaksanaan Balok Dan Pelat

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Sistem Struktur

Dalam menentukan metode sistem struktur untuk perhitungan struktur dalam perencanaan ini berdasarkan SNI 1726-2012 dan peta Hazard Indonesia 2010 dengan probabilitas terlampaui 10% dalam 500 tahun. Penentuan sistem struktur tergantung pada kategori desain seismik bangunan. Langkah-langkah penentuan sistem struktur adalah :

1. Klasifikasi situs

Tabel 4.1 Data Tanah N-SPT

No	Kedalaman tanah	Tebal tanah (di) (m)	N	di/N
1	0		0	
2	2.5	2.5	14	0.178571
3	5	2.5	20	0.125
4	7.5	2.5	18	0.138889
5	10	2.5	20	0.125
6	12.5	2.5	17	0.147059
7	15	2.5	17	0.147059
8	17.5	2.5	19	0.131579
9	20	2.5	20	0.125
10	22.5	2.5	23	0.108696
11	25	2.5	30	0.083333
12	27.5	2.5	31	0.080645
13	30	2.5	25	0.1
Jumlah		30		1.490831

Berdasarkan nilai SPT diatas didapatkan :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}} = 20,12$$

Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (Ie)

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan perkantoran yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam **kategori resiko II**

Tabel 4.2 Kategori Resiko & faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

3. Menentukan parameter pergerakan tanah

a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S₁)

Nilai S_s dan S₁ didapatkan berdasarkan peta Hazard gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kota Sumenep, Jawa Timur.

Tabel 4.3 Parameter Nilai S_s dan S₁

Parameter	Nilai
S _s	0,458
S ₁	0,179

b. Koefisien situs (F_a dan F_v)

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4 dan tabel 5

Tabel 4.4 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Dengan interpolasi linier

Untuk $S_s = 0,458$ maka $F_a = 1,433$

Tabel 4.5 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,25$	$S_I = 0,5$	$S_I = 0,75$	$S_I = 1,0$	$S_I \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Dengan interpolasi linier

Untuk $S_I = 0,179$ maka $F_v = 2,048$

c. Parameter respons spektral

$$\begin{aligned}
 S_{ms} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,433 \times 0,458 \\
 &= 0,656
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 2,048 \times 0,179 \\
 &= 0,373
 \end{aligned}$$

- d. Parameter percepatan spektral desain

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,656 \\
 &= 0,438
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,373 \\
 &= 0,249
 \end{aligned}$$

- e. Penentuan kategori desain seismik

Penentuan KDS berdasarkan tabel 6 dan tabel 7 SNI 1726-2012 pasal 6.5 dengan menggunakan S_{DS} dan S_{D1}

$$S_{DS} = 0,438$$

Tabel 4.6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

$$S_{D1} = 0,249$$

Tabel 4.7 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai S_{D1}	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

Karena S_{D1} termasuk kedalam kategori desain seismik D, maka ditinjau pasal 6.5 SNI 1726-2012. Jika S_1 lebih kecil dari 0,75, kategori desain seismik diijinkan untuk ditentukan sesuai tabel 6 saja (SNI 1726-2012 Pasal 6.5), dimana berlaku semua ketentuan dibawah :

1. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perkiraan perioda fundamental struktur T_a , yang ditentukan sesuai dengan pasal 7.8.2.1 adalah kurang dari $0,8T_s$, dimana T_s ditentukan sesuai dengan 6.4

$$T_a = 0,1 N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat.

Maka,

$$T_a = 0,1 \times 5$$

$$= 0,5$$

$$T_a \leq 0,8 T_s$$

$$0,5 \leq 0,8 \times 0,5685$$

$$0,5 \leq 0,54 \quad \text{(memenuhi)}$$

2. Pada masing-masing dua arah ortogonal, perioda fundamental struktur yang digunakan untuk menghitung simpangan antar lantai adalah kurang dari T_s .

T_s didapatkan berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 6.4.

$$T_s = \frac{SD1}{SDS}$$

$$T_s = \frac{0,249}{0,438}$$

$$T_s = 0,5685$$

$$T_a < T_s$$

$$0,5 < 0,5685 \quad \text{(memenuhi)}$$

3. Persamaan 22 digunakan untuk menentukan koefisien respons seismik C_s .

$$C_s = \frac{SDS}{\frac{R}{I_e}}$$

$$C_s = \frac{0,438}{\frac{5}{1}}$$

$$C_s = 0,0876$$

4. Diafragma struktural adalah kaku sebagaimana disebutkan di 7.3.1 atau diafragma yang fleksibel, jarak antara elemen-elemen vertikal penahan gaya gempa tidak melebihi 12 m.

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.3.1.2, dimana kondisi diafragma kaku yaitu diafragma pelat beton atau dek metal yang diberi penutup beton dengan perbandingan lebar dan panjang bangunan sebesar 3 atau kurang pada struktur tanpa ketidakberaturan horisontal.

$$\frac{S}{\frac{De}{48 m}} < 3$$

$$\frac{55 m}{0,87} < 3$$

(memenuhi)

Karena memenuhi 4 persyaratan diatas, maka penentuan kategori desain seismik berdasarkan pada tabel 6 SNI 1726-2012, yaitu termasuk kedalam **kategori desain seismik C**, sehingga perhitungan struktur direncanakan menggunakan **Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)**.

4.2 Preliminary Design

Dalam merencanakan struktur bangunan Gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

4.2.1 Perencanaan Dimensi Balok

A. Balok Induk

❖ Balok Induk 1

➤ Data-data perencanaan :

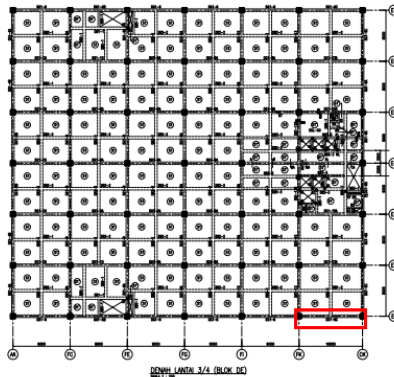
Tipe balok = BI1

Bentang Balok = 1000 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.1 Balok Bentang 10 Meter

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{1000}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 60,7 \text{ cm} \approx 65 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 65$$

$$b = 43,33 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

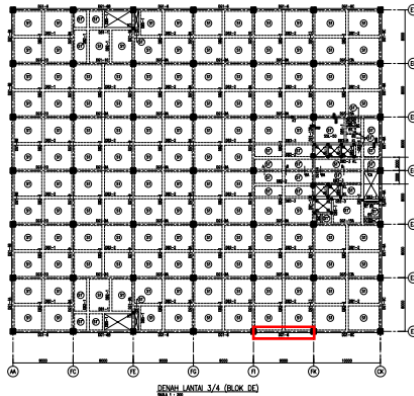
maka, direncanakan balok induk dengan dimensi **45/65**

❖ **Balok Induk 2**

➤ **Data-data perencanaan :**

Tipe balok = BI2
 Bentang Balok = 900 cm
 Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
 Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ **Gambar denah perencanaan :**



Gambar 4.2 Balok Bentang 9 Meter

➤ **Perhitungan perencanaan :**

$$h = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{900}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 54,6 \text{ cm} \approx 55 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 55$$

$$b = 36,67 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

maka, direncanakan balok induk dengan dimensi **40/55**

❖ Balok Induk 3

➤ Data-data perencanaan :

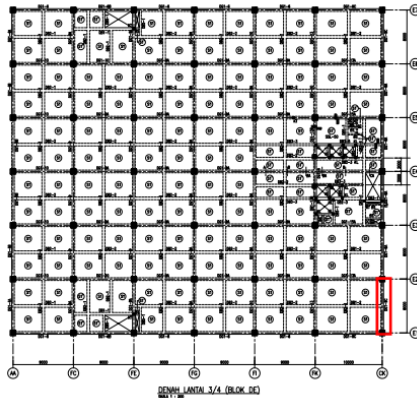
Tipe balok = BI3

Bentang Balok = 800 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.3 Balok Bentang 8 Meter

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{800}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 48,57 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 50$$

$$b = 33,33 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

maka, direncanakan balok induk dengan dimensi **35/50**

B. Balok Anak

❖ Balok Anak 1

➤ Data-data perencanaan :

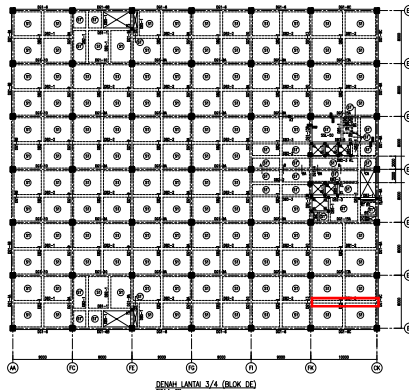
Tipe balok = BA1

Bentang Balok = 1000 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.4 Balok Bentang 10 Meter

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{1000}{21} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 46,25 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 50$$

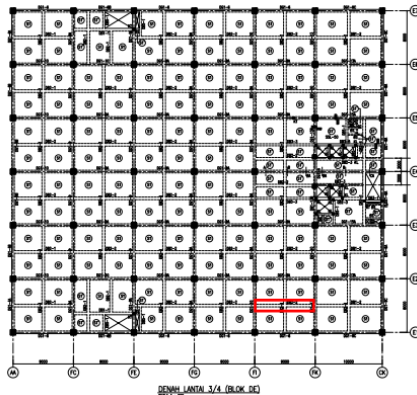
$b = 33,33 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$
 maka, direncanakan balok anak dengan
 dimensi **35/50**

❖ Balok Anak 2

➤ Data-data perencanaan :

Tipe balok = BA2
 Bentang Balok = 900 cm
 Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa
 Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.5 Balok Bentang 9 Meter

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{900}{21} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 41,63 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 45$$

$$b = 30 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

maka, direncanakan balok anak dengan dimensi **30/45**

❖ Balok Anak 3

➤ Data-data perencanaan :

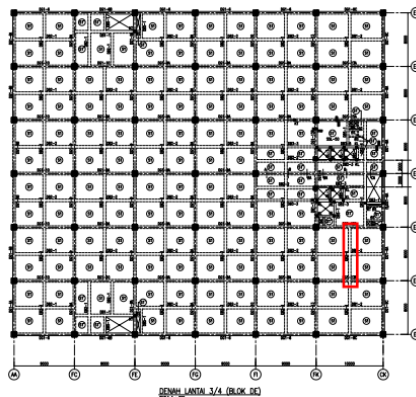
Tipe balok = BA3

Bentang Balok = 800 cm

Kuat leleh tulangan lentur (f_y) = 400 MPa

Mutu beton (f_c') = 30 MPa

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.6 Balok Bentang 8 Meter

➤ Perhitungan perencanaan :

$$h = \frac{L}{21} \left(0,4 + \frac{F_y}{700} \right)$$

$$h = \frac{800}{21} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 37 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 40$$

$$b = 26,67 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm}$$

maka, direncanakan balok anak dengan dimensi **30/40**

4.2.2 Perencanaan Dimensi Sloof

➤ **Data-data perencanaan :**

Tipe sloof = BS

Bentang terpanjang = 1000 cm

➤ **Perhitungan perencanaan**

$$h = \frac{L}{16} \left(0,4 + \frac{Fy}{700} \right)$$

$$h = \frac{1000}{16} \left(0,4 + \frac{400}{700} \right)$$

$$h = 60,7 \text{ cm} \approx 65 \text{ cm}$$

$$b = \frac{2}{3} h$$

$$b = \frac{2}{3} 65$$

$$b = 43,33 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

maka, direncanakan sloof dengan dimensi **45/65**

4.2.3 Perencanaan Dimensi Kolom

❖ **Kolom 1**

➤ **Data-data perencanaan :**

Tipe kolom = K1

Tinggi kolom = 300 cm

Dimensi balok induk = 45/65

Bentang balok = 1000 cm

➤ **Perhitungan perencanaan :**

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I_{\text{balok}} = \frac{1}{12} 45 \times 65^3$$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= 1.029.843,75 \text{ cm}^4 \\
 \frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} &= \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{kolom}} \times I_{\text{balok}}} \\
 I_{\text{kolom}} &= \frac{L_{\text{balok}}}{300 \times 1.029.843,75} \\
 I_{\text{kolom}} &= \frac{1000}{1000} \\
 I_{\text{kolom}} &= 308.953,125 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

Direncanakan dimensi kolom $b=h$

$$\begin{aligned}
 I_{\text{kolom}} &= \frac{1}{12} b h^3 \\
 308.953,125 &= \frac{1}{12} h^4
 \end{aligned}$$

$$h^4 = 3.707.437,5 \text{ cm}^4$$

$$h = 43,88 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan kolom dengan dimensi **50/50**.

❖ Kolom 2

➤ Data-data perencanaan :

Tipe kolom	= K2
Tinggi kolom	= 375 cm
Dimensi balok induk	= 45/65
Bentang balok	= 1000 cm

➤ Perhitungan perencanaan :

$$\begin{aligned}
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} b h^3 \\
 I_{\text{balok}} &= \frac{1}{12} 45 \times 65^3 \\
 I_{\text{balok}} &= 1.029.843,75 \text{ cm}^4 \\
 \frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} &= \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}}
 \end{aligned}$$

$$I \text{ kolom} = \frac{L \text{ kolom} \times I \text{ balok}}{\frac{L \text{ balok}}{375 \times 1.029.843,75}}$$

$$I \text{ kolom} = \frac{1000}{1000}$$

$$I \text{ kolom} = 386.191,406 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom $b=h$

$$I \text{ kolom} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$386.191,406 = \frac{1}{12} h^4$$

$$h^4 = 4.634.296,872 \text{ cm}^4$$

$$h = 46,39 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan kolom dengan dimensi **50/50**.

❖ Kolom 3

➤ Data-data perencanaan :

Tipe kolom	= K3
Tinggi kolom	= 355 cm
Dimensi balok induk	= 45/65
Bentang balok	= 1000 cm

➤ Perhitungan perencanaan :

$$I \text{ balok} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$I \text{ balok} = \frac{1}{12} 45 \times 65^3$$

$$I \text{ balok} = 1.029.843,75 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I \text{ kolom}}{L \text{ kolom}} = \frac{I \text{ balok}}{\frac{L \text{ balok}}{L \text{ kolom} \times I \text{ balok}}}$$

$$I \text{ kolom} = \frac{L \text{ balok}}{355 \times 1.029.843,75}$$

$$I \text{ kolom} = \frac{1000}{1000}$$

$$I \text{ kolom} = 365.594,53 \text{ cm}^4$$

Direncanakan dimensi kolom $b=h$

$$I_{kolom} = \frac{1}{12} b h^3$$

$$365.594,53 = \frac{1}{12} h^4$$

$$h^4 = 4.387.134,375 \text{ cm}^4$$

$$h = 45,77 \text{ cm} \approx 50 \text{ cm}$$

Maka, direncanakan kolom dengan dimensi
50/50.

4.2.4 Perencanaan Dimensi Tangga

➤ Data-data perencanaan :

Tipe tangga = tangga utama 1

Panjang datar tangga = 330 cm

Tinggi tangga = 300 cm

Tinggi pelat bordes = 150 cm

Tebal pelat tangga = 15 cm

Tebal pelat bordes = 15 cm

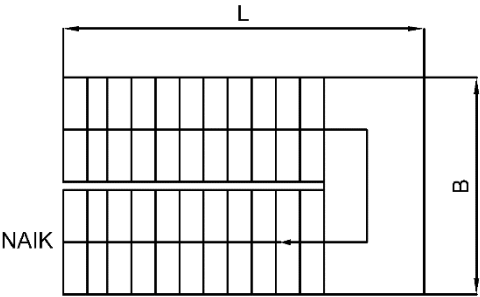
Lebar injakan (i) = 30 cm

Tinggi injakan (t) = 17,5 cm

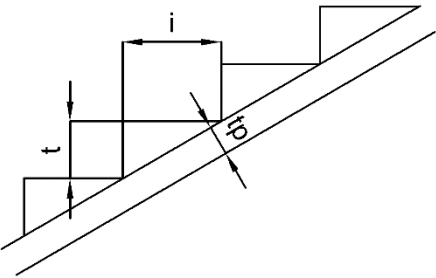
Lebar tangga = 135 cm

Lebar bordes = 137,5 cm

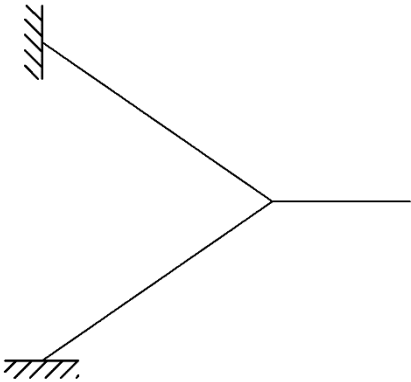
➤ Sketsa tangga utama 1



Gambar 4.7 Denah Tangga



Gambar 4.8 Tebal dan Dimensi Tangga



Gambar 4.9 Perletakan pada Tangga

➤ Perhitungan perencanaan :

- Jumlah tanjakan (n)

$$nt = \frac{\text{tinggi bordes}}{t} = \frac{150 \text{ cm}}{17,5 \text{ cm}}$$

$$nt = 8,57 \approx 9 \text{ buah}$$

- Jumlah injakan (i)

$$ni = nt - 1 = 9 - 1$$

$$ni = 8 \text{ buah}$$

- Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \arctan \frac{t}{i}$$

$$\alpha = \arctan \frac{17,5}{30}$$

$$\alpha = 30,3^\circ$$

- Cek syarat

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 30,3^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{OK})$$

- Syarat lebar injakan dan tinggi tanjakan

$$60 \leq 2t + i \leq 65$$

$$60 \leq 65 \leq 65 \quad (\text{OK})$$

- Tebal efektif pelat tangga

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times i \times t$$

$$\text{Luas 1} = \frac{1}{2} \times 30 \text{ cm} \times 17,5 \text{ cm}$$

$$\text{Luas 1} = 263 \text{ cm}^2$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{(i^2 + t^2)} \times d$$

$$\text{Luas 2} = \frac{1}{2} \times \sqrt{(30^2 + 17,5^2)} \times d$$

$$\text{Luas 2} = 17,4 \text{ d}$$

$$\text{Luas 1} = \text{Luas 2}$$

$$263 \text{ cm}^2 = 17,4 \text{ d}$$

$$d = 15,12 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{2} d = 7,56 \text{ cm}$$

Maka tebal efektif pelat tangga :

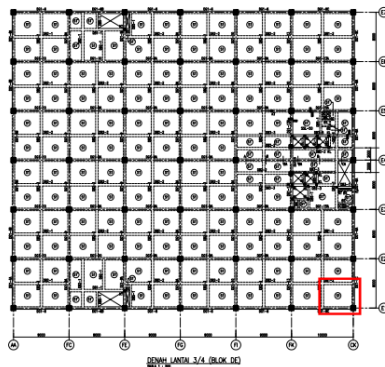
$$\begin{aligned} h &= t_s + \frac{1}{2} d \\ &= 15 \text{ cm} + 7,56 \text{ cm} \\ &= 22,56 \text{ cm} \approx 23 \text{ cm} \end{aligned}$$

4.2.5 Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S1
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja (f_y)	= 400 MPa
Rencana tebal pelat	= 12 cm
Bentang pelat sb. Panjang	= 500 cm
Bentang pelat sb. Lebar	= 400 cm

➤ Gambar denah perencanaan :



Gambar 4.10 Tebal Pelat yang Ditinjau

➤ Perhitungan perencanaan :

- Bentang bersih sumbu panjang dan sumbu pendek

$$l_n = l_y - \frac{b \text{ balok kiri}}{2} - \frac{b \text{ balok kanan}}{2}$$

$$l_n = 500 - \frac{30}{2} - \frac{35}{2}$$

$$l_n = 467,5 \text{ cm}$$

$$S_n = l_n - \frac{b \text{ balok bawah}}{2} - \frac{b \text{ balok atas}}{2}$$

$$S_n = 400 - \frac{45}{2} - \frac{35}{2}$$

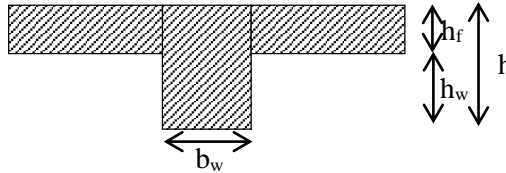
$$S_n = 360 \text{ cm}$$

- Rasio l_n/S_n

$$\beta = \frac{l_n}{S_n} = \frac{467,5}{360} = 1,299$$

- Perhitungan tebal pelat

- Tinjau balok kiri



$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$h_w = 28 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat :

$$b_e = b_w + 2h_w = 86 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 126 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 86 cm

faktor modifikasi, K :

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = 1,58$$

Momen inersia penampang balok :

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 1,58 \times \frac{30 \times 40^3}{12}$$

$$I_b = 252.800 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(500 + 500) \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 72.000 \text{ cm}^4$$

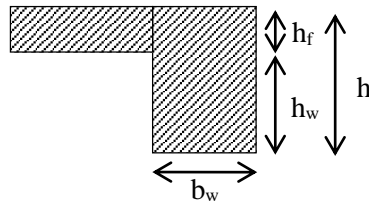
Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha_f 1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_f 1 = \frac{252800}{72000}$$

$$\alpha_f 1 = 3,51$$

- Tinjau balok kanan



$$b_w = 35 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 38 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat :

$$b_e = b_w + h_w = 73 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 4h_f = 83 \text{ cm}$$

$$\text{diambil nilai } b_e \text{ terkecil} = 73 \text{ cm}$$

faktor modifikasi, K :

$$K = \frac{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{h}\right) x \left[4 - 6 \left(\frac{hf}{h}\right) + 4 \left(\frac{hf}{h}\right)^2 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{be}{bw} - 1\right) x \left(\frac{hf}{h}\right)}$$

$$K = 1,37$$

Momen inersia penampang balok :

$$Ib = k x \frac{bw x h^3}{12}$$

$$Ib = 1,37 x \frac{35 x 50^3}{12}$$

$$Ib = 499.479,17 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat :

$$Ip = \frac{bp x hf^3}{12}$$

$$Ip = \frac{0,5(500) x 12^3}{12}$$

$$Ip = 36.000 \text{ cm}^4$$

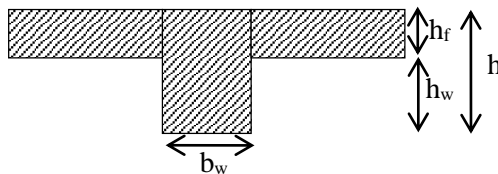
Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha f2 = \frac{Ib}{Ip}$$

$$\alpha f2 = \frac{499479,17}{36000}$$

$$\alpha f2 = 13,87$$

- Tinjau balok atas



$$b_w = 35 \text{ cm}$$

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$h_w = 38 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat :

$$b_e = b_w + 2h_w = 111 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 8h_f = 131 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 111 cm

faktor modifikasi, K :

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right) x \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) x \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = 1,62$$

Momen inersia penampang balok :

$$I_b = k x \frac{b_w x h^3}{12}$$

$$I_b = 1,62 x \frac{35 x 50^3}{12}$$

$$I_b = 590.625 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{b_p x h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(400 + 400) x 12^3}{12}$$

$$I_p = 57.600 \text{ cm}^4$$

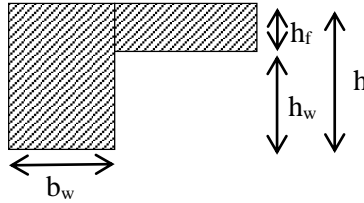
Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha f_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha f_3 = \frac{590.625}{57600}$$

$$\alpha f_3 = 10,25$$

- Tinjau balok bawah



$$b_w = 45 \text{ cm}$$

$$h = 65 \text{ cm}$$

$$h_w = 53 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

Lebar efektif pelat :

$$b_e = b_w + h_w = 98 \text{ cm}$$

$$b_e = b_w + 4h_f = 93 \text{ cm}$$

diambil nilai b_e terkecil = 93 cm

faktor modifikasi, K :

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = 1,34$$

Momen inersia penampang balok :

$$I_b = k \times \frac{b_w \times h^3}{12}$$

$$I_b = 1,34 \times \frac{45 \times 65^3}{12}$$

$$I_b = 1.379.990,625 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat :

$$I_p = \frac{b_p \times h_f^3}{12}$$

$$I_p = \frac{0,5(400) \times 12^3}{12}$$

$$I_p = 28.800 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat :

$$\alpha f4 = \frac{Ib}{Ip}$$
$$\alpha f4 = \frac{1.379.990,625}{28.800}$$
$$\alpha f4 = 47,92$$

Dari keempat balok diatas didapatkan rata-rata :

$$\alpha fm = \frac{\alpha f1 + \alpha f2 + \alpha f3 + \alpha f4}{4}$$
$$\alpha fm = \frac{3,51 + 13,87 + 10,25 + 47,92}{4}$$
$$\alpha fm = 18,89$$

Karena $\alpha fm > 2,0$ dipakai persamaan :

$$hf = \frac{\ln\left(0,8 + \frac{fy}{1400}\right)}{36 + 9\beta} > 90mm$$

$$hf = \frac{4675\left(0,8 + \frac{400}{1400}\right)}{36 + 9(1,299)} > 90mm$$

$$hf = 106,43 \text{ mm} > 90 \text{ mm}$$

maka dipakai tebal pelat **120 mm**

4.3 Perhitungan Pembebanan

4.3.1 Beban Pelat

Pembebanan pada pelat berdasarkan pada peraturan SNI 1727-2013 dan brosur yang telah dilampirkan.

A. Pelat lantai atap

Tabel 4.8 Beban Mati pada Pelat Atap

A. Beban Mati		
No	Item	Beban (kg/m²)
1	Berat sendiri (t=12 cm)	288
2	Spesi (t=2 cm)	40
3	Waterproofing	5

4	Plafond	8,5
5	Penggantung plafond	10
6	<i>Ducting Mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
Total		395,5

Tabel 4.9 Beban Hidup pada Pelat Atap

B. Beban Hidup		
No	Item	Beban (kg/m²)
1	Atap datar	96
Total		96

B. Pelat lantai 1-5

Tabel 4.10 Beban Mati pada Pelat Lantai 1-5

A. Beban Mati		
No	Item	Beban (kg/m²)
1	Berat sendiri (t=12 cm)	288
2	Spesi (t=2 cm)	40
3	Keramik 40 x 40 (t=1 cm)	16,5
4	Plafond	8,5
5	Penggantung plafond	10
6	<i>Ducting mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
Total		407

Tabel 4.11 Beban Hidup pada Pelat Lantai 1-5

B. Beban Hidup		
No	Item	Beban (kg/m²)
1	Kantor	240
2	Koridor	383

Total	623
--------------	------------

C. Pelat tangga

Tabel 4.12 Beban Mati pada Pelat Tangga

A. Beban Mati		
No	Item	Beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=23 cm)	552
2	Spesi (t=2 cm)	40
3	Keramik 40 x 40 (t=1 cm)	16.5
4	<i>Railing</i>	89
Total		638,5

Tabel 4.13 Beban Hidup pada Pelat Tangga

B. Beban Hidup		
No	Item	Beban (kg/m ²)
1	Tangga dan jalan keluar	479
Total		479

D. Pelat bordes

Tabel 4.14 Beban Mati pada Pelat Bordes

A. Beban Mati		
No	Item	Beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=15 cm)	360
2	Spesi (t=2 cm)	40
3	Keramik 40 x 40(t=1 cm)	16.5
4	<i>Railing</i>	89
Total		505,5

Tabel 4.15 Beban Hidup pada Pelat Bordes

B. Beban Hidup		
No	Item	Beban (kg/m ²)
1	Tangga dan jalan keluar	479
Total		479

4.3.2 Beban Dinding

Pembebanan pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan brosur yang telah dilampirkan.

Tabel 4.16 Pembebanan pada Elemen Dinding

Material	BJ (kg/m ³)	Nilai (kg/m ²)
Bata ringan Citicon (t=10 cm)	600	60
Plester D200 (t=3 cm)	2000	60
Acian NP S540 (t=2 cm)	100	2
Total		122

Beban dinding didistribusikan pada komponen balok sebagai beban mati, dengan perhitungan pembebanan menyesuaikan dengan tinggi lantai pada bangunan.

➤ Data tinggi lantai :

- Lantai dasar s/d lantai 1 (H1) = 3 m
- Lantai 1 s/d lantai 2 (H2) = 3,75 m
- Lantai 2 s/d lantai 3 (H3) = 3,75 m
- Lantai 3 s/d lantai 4 (H4) = 3,55 m
- Lantai 4 s/d lantai 5 (H5) = 3,55 m
- Lantai 5 s/d lantai atap (H6) = 3,55 m
- Lantai Ruang lift (H7) = 2,3 m

➤ Perhitungan pembebanan

- Lantai dasar s/d lantai 1 (H1)

$$\begin{aligned}\text{Beban merata dinding} &= H1 \times Q_{\text{dinding}} \\ &= 3 \text{ m} \times 122\end{aligned}$$

$$\text{kg/m}^2$$

$$= 366 \text{ kg/m}$$

- Lantai 1 s/d lantai 2 (H2)
 Beban merata dinding $= H2 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,75 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 457,5 \text{ kg/m}$
- Lantai 2 s/d lantai 3 (H3)
 Beban merata dinding $= H3 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,75 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 457,5 \text{ kg/m}$
- Lantai 3 s/d lantai 4 (H4)
 Beban merata dinding $= H4 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,55 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 433,1 \text{ kg/m}$
- Lantai 4 s/d lantai 5 (H5)
 Beban merata dinding $= H5 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,55 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 433,1 \text{ kg/m}$
- Lantai 5 s/d lantai atap (H6)
 Beban merata dinding $= H6 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 3,55 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 433,1 \text{ kg/m}$
- Lantai Ruang Lift (H7)
 Beban merata dinding $= H6 \times Q_{\text{dinding}}$
 $= 2,3 \text{ m} \times 122$
 kg/m^2
 $= 2,806 \text{ kg/m}$

4.3.3 Beban Angin

Prosedur perhitungan beban angin berdasarkan pada SNI 1727-2013.

1. Kategori resiko bangunan gedung = II
2. Kecepatan angin dasar (v) = 28 km/jam

$$= 7,778 \text{ m/s}$$

3. Parameter beban angin.

- Faktor arah angin (K_d) = 0,85
- Kategori eksposur = B
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1
- Faktor tiupan angin (G) = 0,85
- Kategori ketertutupan = tertutup
- Koefisien tekanan internal ($G C_{pi}$) = + 0,18
- 0,18

4. Koefisien eksposur tekanan velositas

- z = 21,15 m
- α = 7
- z_g = 365,76 m

Untuk,

$$4,6 \text{ m} < z < z_g$$

$$4,6 \text{ m} < 21,15 \text{ m} < 365,76 \text{ m}$$

Maka,

$$\begin{aligned} K_z &= 2,01 (z/z_g)^{2/\alpha} \\ &= 2,01 (21,15/365,76)^{2/7} \\ &= 0,89 \end{aligned}$$

Interpolasi untuk mencari nilai K_h

Z (m)	Eksposur B
18	0,850
21,15	K_h
21,3	0,890

$$K_h = 0,888$$

5. Tekanan velositas

$$\begin{aligned} q_z &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (7,778 \text{ m/s})^2 \\ &= 28,05 \text{ N/m}^2 = 2,805 \text{ kg/m}^2 \\ q_h &= 0,613 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \cdot 0,888 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (7,778 \text{ m/s})^2 \\ &= 27,99 \text{ N/m}^2 = 2,799 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

6. Koefisien tekanan eksternal

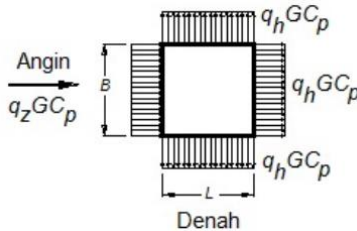
L = dimensi horizontal bangunan gedung diukur tegak lurus terhadap arah angin → 55 m

B = dimensi horizontal bangunan gedung diukur sejajar terhadap arah angin → 48 m

$$L/B = \frac{55}{48} = 1,146$$

Tabel 4.17 Koefisien Tekanan Dinding, C_p

Koefisien tekanan dinding, C_p			
Permukaan	L/B	C_p	Digunakan dengan
Dinding di sisi angin datang	1,146	0,8	q_z
Dinding di sisi angin pergi	1,146	-0,49	q_h
Dinding tepi	1,146	-0,7	q_h



Gambar 4.11 Denah Arah Beban Angin (SNI 1727-2013)

$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin datang} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\ &= 2,805 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \\ &= 1,9074 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pada arah angin pergi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\ &= 2,799 \cdot 0,85 \cdot (-0,49) \\ &= -1,166 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dinding tepi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\ &= 2,799 \cdot 0,85 \cdot (-0,7) \\ &= -1,665 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Maka rekapitulasi beban angin yang terjadi pada setiap lantai pada bangunan ini adalah :

Tabel 4.18 Rekapitulasi Beban Angin

Lantai banguna n	Tinggi banguna n	z_g	α	qz.G.C	qz.G.C	qh.G.C
				p	p	p
	(m)	(m)		Datang (kg/m ²)	Pergi (kg/m ²)	Tepi (kg/m ²)
Dasar	3	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
1	3,75	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
2	3,75	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
3	3,55	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
4	3,55	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
5	3,55	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67
R.lift	2,3	365,7 6	7	1,9	1,17	1,67

4.3.4 Beban Hujan

$$R = 0,0098 (ds+dh)$$

Dimana,

ds = kedalam air pada atap yang tidak melendut (20 mm)

dh = tambahan kedalaman air pada atap yang tidak melendut (10 mm)

Maka,

$$\begin{aligned} R &= 0,0098 (ds + dh) \\ &= 0,0098 (20 + 10) \\ &= 0,294 \text{ kN/m}^2 = 29,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

4.3.5 Beban Lift

Beban yang bekerja akibat pergerakan *elevator* dianggap beban terpusat akibat gaya yang bekerja terhadap berat kapasitas *elevator* sendiri yang diasumsikan *elevator* akan berhenti di setiap lantai bangunan. Sedangkan beban reaksi akibat ruang mesin *lift* dan *pit lift* sudah diketahui pada katalog sesuai spesifikasi *elevator* rencana.

Untuk Lift yang dipakai adalah merk SIGMA dengan reaksi sebagai berikut :

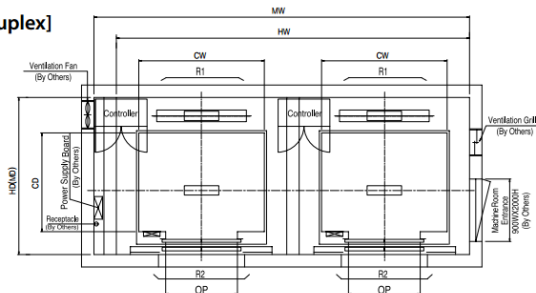
Tabel 4.19 Spesifikasi Lift SIGMA

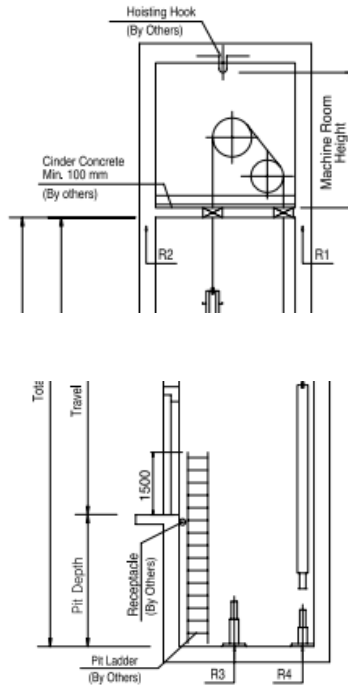
Speed (m/sec)	Capacity		Reaction (Static Load)				Door Opening W x H
	Person	Load (kg)	R1	R2	R3	R4	
1	10	680	4200	2850	5000	3650	800 x 1950

Tabel 4.20 Dimensi Lift SIGMA

Inside Dimension					
Car		Hoistway		Machine Room	
CW	CD	HW	HD	MW	MD
1400	1250	3750	1900	3750	1900

[Duplex]





Gambar 4.12 Dimensi Lift Merk SIGMA

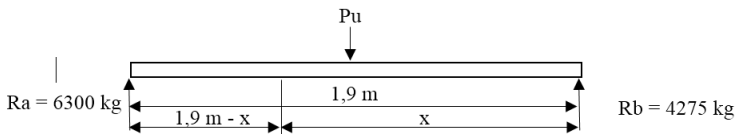
Perhitungan pembebanan pada balok

penggantung lift :

Panjang balok penggantung lift = 1,9 m

$$R_a = R1.KLL = R1 \times 150\% = 4200 \text{ kg} \times 150\% = 6300 \text{ kg}$$

$$R_b = R2.KLL = R2 \times 150\% = 2850 \text{ kg} \times 150\% = 4275 \text{ kg}$$



$$\sum M_b = 0$$

$$\begin{aligned}
0 &= 1,9.6300 - Pu.x \\
Pu &= \frac{11970}{x} \\
\Sigma Ma &= 0 \\
0 &= -1,9.4275 + Pu.(1,9-x) \\
0 &= -8122,5 + \frac{11970}{x}(1,9-x) \\
0 &= -8122,5 + \frac{22743}{x} - 11970 \\
0 &= -20092,5 + \frac{22743}{x} \\
20092,5 &= \frac{22743}{x} \\
x &= 1,13 \text{ m} \\
Pu &= \frac{11970}{x} = \frac{11970}{1,13} = 10.592,92 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Sehingga, untuk beban terpusat lift yang akan dimasukkan sebagai beban pada permodelan di program bantu SAP 2000 v.14 adalah sebesar 10.592,92 kg.

4.3.6 Beban Gempa

Prosedur perhitungan beban gempa dengan metode statik ekuivalen berdasarkan pada SNI 1726-2012.

1. Klasifikasi situs

Tabel 4.21 Data Tanah N-SPT

No	Kedalaman tanah	Tebal tanah (di) (m)	N	di/N
1	0		0	
2	2.5	2.5	14	0.178571
3	5	2.5	20	0.125
4	7.5	2.5	18	0.138889

5	10	2.5	20	0.125
6	12.5	2.5	17	0.147059
7	15	2.5	17	0.147059
8	17.5	2.5	19	0.131579
9	20	2.5	20	0.125
10	22.5	2.5	23	0.108696
11	25	2.5	30	0.083333
12	27.5	2.5	31	0.080645
13	30	2.5	25	0.1
Jumlah		30		1.490831

Berdasarkan nilai SPT diatas didapatkan :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n di}{\sum_{i=1}^n \frac{di}{ni}} = 20,12$$

Berdasarkan klasifikasi situs SNI 1726-2012, tanah pada lokasi proyek termasuk ke dalam **situs SD (Tanah Sedang)**.

2. Faktor keutamaan bangunan (Ie)

Kategori resiko dan faktor keutamaan gempa berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 4.1.2 tabel 1 s/d tabel 2. Bangunan perkantoran yang menjadi obyek pada tugas akhir ini termasuk kedalam **kategori resiko II**

Tabel 4.22 Kategori Resiko dan Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Resiko	Faktor keutamaan gempa
I atau II	1
III	1,25
IV	1,5

3. Menentukan parameter pergerakan tanah
- a. Parameter percepatan gempa (S_s dan S_1)
- Nilai S_s dan S_1 didapatkan berdasarkan peta Hazard gempa Indonesia 2010 dengan lokasi bangunan di kota Sumenep, Jawa Timur.

Tabel 4.23 Parameter Nilai S_s dan S_1

Parameter	Nilai
S_s	0,458
S_1	0,179

- b. Koefisien situs (F_a dan F_v)

Nilai F_a dan F_v berdasarkan SNI 1726-2012 tabel 4 dan tabel 5

Tabel 4.24 Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

Dengan interpolasi linier

Untuk $S_s = 0,458$ maka $F_a = 1,433$

Tabel 4.25 Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,25$	$S_1 = 0,5$	$S_1 = 0,75$	$S_1 = 1,0$	$S_1 \geq 1,25$

SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Dengan interpolasi linier

Untuk $S_1 = 0,179$ maka $F_v = 2,048$

c. Parameter respons spektral

$$\begin{aligned}
 S_{ms} &= F_a \times S_s \\
 &= 1,433 \times 0,458 \\
 &= 0,656 \\
 S_{m1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 2,048 \times 0,179 \\
 &= 0,373
 \end{aligned}$$

d. Parameter percepatan spektral desain

$$\begin{aligned}
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{ms} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,656 \\
 &= 0,438 \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{m1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,373 \\
 &= 0,249
 \end{aligned}$$

4. Menentukan perioda fundamental pendekatan

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.2.1

dimana sebagai alternatif, diijinkan menentukan T_a dari persamaan dibawah untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem penahan gaya gempa terdiri dari rangka penahan momen beton atau baja secara keseluruhan dan tingkat paling sedikit 3m

$$T_a = 0,1N$$

Dimana N adalah jumlah tingkat.

Maka,

$$\begin{aligned} T_a &= 0,1 \times (5) \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

5. Koefisien respons seismik

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{DS}}{R} \\ &\frac{I_e}{1} \\ C_s &= \frac{0,438}{5} = 0,0876 \end{aligned}$$

Dengan nilai R=5 (SRPMM)

$$\begin{aligned} C_{S_{min}} &= 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01 \\ &= 0,044 \times 0,438 \times 1 \geq 0,01 \\ &= 0,0193 \geq 0,01 \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{S_{min}} &< C_s \\ 0,0193 &< 0,0876 \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Maka,

Digunakan $C_s = 0,0876$

6. Berat seismik efektif total struktur

Berdasarkan perhitungan berat struktur yang dilampirkan, didapatkan 12.829.956,54 Kg.

7. Gaya geser dasar seismik (V)

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W \\ &= 0,0876 \times 12.829.956,54 \text{ kg} \\ &= 1.123.904,19 \text{ kg} \end{aligned}$$

8. Distribusi vertikal gaya gempa

Nilai T = 0,5 maka nilai k = 1 (SNI 1726-2012 pasal 7.8.3)

$$F_x = C_{vx} \times V$$

Dimana,

$$C_{vx} = \frac{W_x \cdot h_x^k}{\sum W_x \cdot h_x^k}$$

Tabel 4.26 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Lantai	Wx (kg)	hx (m)	Wx.hxk	Cvx	V	Fi
F0	1005967,75	0,00	0	0	1.123.904,19	-
F1	2089743,54	3,00	3619541,98	0,09		103.279,92
F2	1951968,63	6,75	5071363,26	0,13		144.706,15
F3	1950037,81	10,50	6318844,70	0,16		180.301,75
F4	1948106,99	14,05	7302153,66	0,19		208.359,47
F5	1948106,99	17,60	8172767,40	0,21		233.201,54
F6	1936024,83	21,15	8903609,59	0,23		254.055,37
	12829956,54	73,05	39388280,59			1.123.904,19

Cek gaya geser

$$V = F0 + F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6$$

$$1.363.707,33 \text{ kg} = 1.363.707,33 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

9. Beban gempa per kolom

Tabel 4.27 Eksentrisitas Gempa Per Lantai

Lantai	Pusat Massa		Pusat Kekakuan		Eksentrisitas	
	x	y	x	y	x	y
lantai dasar	28,12	24,02	27,14	24	0,98	0,02
lantai 1	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45
lantai 2	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45
lantai 3	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45
lantai 4	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45
lantai 5	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45
lantai atap	27,94	24,45	27,14	24	0,80	0,45

- Lantai dasar

$$F_{ix} = 0$$

$$F_{iy} = 0$$

- Lantai 1

$$\text{Eksentrisitas X} = 0,8 \text{ m}$$

$$\text{Eksentrisitas Y} = 0,43 \text{ m}$$

$$M_x = \text{Eksentrisitas X} \cdot F_1$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,8 \cdot 103.279,92 \\
 &= 82.823,14 \text{ kg.m} \\
 \text{My} &= \text{Eksentrisitas Y.F1} \\
 &= 0,43 \cdot 103.279,92 \\
 &= 44.410,36 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$F_{1X} = \frac{F1}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx \cdot x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{1Y} = \frac{F1}{n \text{ kolom}} + \frac{My \cdot y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.28 Beban Gempa Per Kolom Lantai 1

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0	103279,92	82823,14	44410,36	1969,50	2022,78
2	A-2	9	0				2015,34	2022,78
3	A-3	18	0				2061,18	2022,78
4	A-4	27	0				2107,03	2022,78
5	A-5	36	0				2152,87	2022,78
6	A-6	45	0				2198,71	2022,78
7	A-7	55	0				2249,65	2022,78
8	B-1	0	8				1969,50	2051,11
9	B-2	9	8				2015,34	2051,11
10	B-3	18	8				2061,18	2051,11
11	B-4	27	8				2107,03	2051,11
12	B-5	36	8				2152,87	2051,11
13	B-6	45	8				2198,71	2051,11
14	B-7	55	8				2249,65	2051,11
15	C-1	0	16				1969,50	2079,43
16	C-2	9	16				2015,34	2079,43
17	C-3	18	16				2061,18	2079,43
18	C-4	27	16				2107,03	2079,43
19	C-5	36	16				2152,87	2079,43
20	C-6	45	16				2198,71	2079,43
21	C-7	55	16				2249,65	2079,43
22	D-1	0	24				1969,50	2107,75
23	D-2	9	24				2015,34	2107,75
24	D-3	18	24				2061,18	2107,75
25	D-4	27	24				2107,03	2107,75
26	D-5	36	24				2152,87	2107,75
27	D-6	45	24				2198,71	2107,75
28	D-7	55	24				2249,65	2107,75
29	E-1	0	32				1969,50	2136,08
30	E-2	9	32				2015,34	2136,08

31	E-3	18	32				2061,18	2136,08
32	E-4	27	32				2107,03	2136,08
33	E-5	36	32				2152,87	2136,08
34	E-6	45	32				2198,71	2136,08
35	E-7	55	32				2249,65	2136,08
36	F-1	0	40				1969,50	2164,40
37	F-2	9	40				2015,34	2164,4
38	F-3	18	40				2061,18	2164,4
39	F-4	27	40				2107,03	2164,4
40	F-5	36	40				2152,87	2164,4
41	F-6	45	40				2198,71	2164,4
42	F-7	55	40				2249,65	2164,4
43	G-1	0	48				1969,50	2192,72
44	G-2	9	48				2015,34	2192,72
45	G-3	18	48				2061,18	2192,72
46	G-4	27	48				2107,03	2192,72
47	G-5	36	48				2152,87	2192,72
48	G-6	45	48				2198,71	2192,72
49	G-7	55	48				2249,65	2192,72

- **Lantai 2**

Eksentrisitas X = 0,8 m

Eksentrisitas Y = 0,43 m

Mx = Eksentrisitas X. F2

= 0,8. 144.706,15

= 116.044,03kg.m

My = Eksentrisitas Y.F2

= 0,43. 144.706,15

= 62.223,64 kg.m

$$F_{2X} = \frac{F2}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx.x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{2Y} = \frac{F2}{n \text{ kolom}} + \frac{My.y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.29 Beban Gempa Per Kolom Lantai 2

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0				2759,47	2834,14
2	A-2	9	0				2823,71	2834,14
3	A-3	18	0				2887,94	2834,14
4	A-4	27	0				2952,17	2834,14
5	A-5	36	0				3016,40	2834,14

5	A-5	36	0	144706,15	116044,03	62223,64	3016,40	2834,14
6	A-6	45	0				3080,63	2834,14
7	A-7	55	0				3152,00	2834,14
8	B-1	0	8				2759,47	2873,82
9	B-2	9	8				2823,71	2873,82
10	B-3	18	8				2887,94	2873,82
11	B-4	27	8				2952,17	2873,82
12	B-5	36	8				3016,40	2873,82
13	B-6	45	8				3080,63	2873,82
14	B-7	55	8				3152,00	2873,82
15	C-1	0	16				2759,47	2913,50
16	C-2	9	16				2823,71	2913,50
17	C-3	18	16				2887,94	2913,50
18	C-4	27	16				2952,17	2913,50
19	C-5	36	16				3016,40	2913,50
20	C-6	45	16				3080,63	2913,50
21	C-7	55	16				3152,00	2913,50
22	D-1	0	24				2759,47	2953,19
23	D-2	9	24				2823,71	2953,19
24	D-3	18	24				2887,94	2953,19
25	D-4	27	24				2952,17	2953,19
26	D-5	36	24				3016,40	2953,19
27	D-6	45	24				3080,63	2953,19
28	D-7	55	24				3152,00	2953,19
29	E-1	0	32				2759,47	2992,87
30	E-2	9	32				2823,71	2992,87
31	E-3	18	32				2887,94	2992,87
32	E-4	27	32				2952,17	2992,87
33	E-5	36	32				3016,40	2992,87
34	E-6	45	32				3080,63	2992,87
35	E-7	55	32				3152,00	2992,87
36	F-1	0	40				2759,47	3032,55
37	F-2	9	40				2823,71	3032,55
38	F-3	18	40				2887,94	3032,55
39	F-4	27	40				2952,17	3032,55
40	F-5	36	40				3016,40	3032,55
41	F-6	45	40				3080,63	3032,55
42	F-7	55	40				3152,00	3032,55
43	G-1	0	48				2759,47	3072,24
44	G-2	9	48				2823,71	3072,24
45	G-3	18	48				2887,94	3072,24
46	G-4	27	48				2952,17	3072,24
47	G-5	36	48				3016,40	3072,24
48	G-6	45	48				3080,63	3072,24
49	G-7	55	48				3152,00	3072,24

- **Lantai 3**

Eksentrisitas X = 0,8 m

Eksentrisitas Y = 0,43 m

Mx = Eksentrisitas X. F3

= 0,8. 180.301,75

= 144.589,17 kg.m

My = Eksentrisitas Y.F3

= 0,43. 180.301,75

= 77.529,75 kg.m

$$F_{3X} = \frac{F3}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx.x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{3Y} = \frac{F3}{n \text{ kolom}} + \frac{My.y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.30 Beban Gempa Per Kolom Lantai 3

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0				3438,26	3531,29
2	A-2	9	0				3518,30	3531,29
3	A-3	18	0				3598,33	3531,29
4	A-4	27	0				3678,36	3531,29
5	A-5	36	0				3758,39	3531,29
6	A-6	45	0				3838,42	3531,29
7	A-7	55	0				3927,34	3531,29
8	B-1	0	8				3438,26	3580,74
9	B-2	9	8				3518,30	3580,74
10	B-3	18	8				3598,33	3580,74
11	B-4	27	8				3678,36	3580,74
12	B-5	36	8				3758,39	3580,74
13	B-6	45	8				3838,42	3580,74
14	B-7	55	8				3927,34	3580,74
15	C-1	0	16				3438,26	3630,18
16	C-2	9	16				3518,30	3630,18
17	C-3	18	16				3598,33	3630,18
18	C-4	27	16				3678,36	3630,18
19	C-5	36	16				3758,39	3630,18
20	C-6	45	16				3838,42	3630,18
21	C-7	55	16				3927,34	3630,18
22	D-1	0	24				3438,26	3679,63
23	D-2	9	24				3518,30	3679,63
24	D-3	18	24				3598,33	3679,63

25	D-4	27	24	180301,75	144589,17	77529,75	3678,36	3679,63
26	D-5	36	24				3758,39	3679,63
27	D-6	45	24				3838,42	3679,63
28	D-7	55	24				3927,34	3679,63
29	E-1	0	32				3438,26	3729,07
30	E-2	9	32				3518,30	3729,07
31	E-3	18	32				3598,33	3729,07
32	E-4	27	32				3678,36	3729,07
33	E-5	36	32				3758,39	3729,07
34	E-6	45	32				3838,42	3729,07
35	E-7	55	32				3927,34	3729,07
36	F-1	0	40				3438,26	3778,52
37	F-2	9	40				3518,30	3778,52
38	F-3	18	40				3598,33	3778,52
39	F-4	27	40				3678,36	3778,52
40	F-5	36	40				3758,39	3778,52
41	F-6	45	40				3838,42	3778,52
42	F-7	55	40				3927,34	3778,52
43	G-1	0	48				3438,26	3827,96
44	G-2	9	48				3518,30	3827,96
45	G-3	18	48				3598,33	3827,96
46	G-4	27	48				3678,36	3827,96
47	G-5	36	48				3758,39	3827,96
48	G-6	45	48				3838,42	3827,96
49	G-7	55	48				3927,34	3827,96

- Lantai 4

Eksentrisitas X = 0,8 m

Eksentrisitas Y = 0,43 m

Mx = Eksentrisitas X. F4

= 0,8. 208.359,47

= 167.089,46 kg.m

My = Eksentrisitas Y.F4

= 0,43. 208.359,47

= 89.594,57 kg.m

$$F_{4X} = \frac{F4}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx \cdot x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{4Y} = \frac{F4}{n \text{ kolom}} + \frac{My \cdot y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.31 Beban Gempa Per Kolom Lantai 4

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0	208359,47	167089,46	89594,57	3973,3	4080,82
2	A-2	9	0				4065,8	4080,82
3	A-3	18	0				4158,3	4080,82
4	A-4	27	0				4250,8	4080,82
5	A-5	36	0				4343,3	4080,82
6	A-6	45	0				4435,7	4080,82
7	A-7	55	0				4538,5	4080,82
8	B-1	0	8				3973,3	4137,96
9	B-2	9	8				4065,8	4137,96
10	B-3	18	8				4158,3	4137,96
11	B-4	27	8				4250,8	4137,96
12	B-5	36	8				4343,3	4137,96
13	B-6	45	8				4435,7	4137,96
14	B-7	55	8				4538,5	4137,96
15	C-1	0	16				3973,3	4195,09
16	C-2	9	16				4065,8	4195,09
17	C-3	18	16				4158,3	4195,09
18	C-4	27	16				4250,8	4195,09
19	C-5	36	16				4343,3	4195,09
20	C-6	45	16				4435,7	4195,09
21	C-7	55	16				4538,5	4195,09
22	D-1	0	24				3973,3	4252,23
23	D-2	9	24				4065,8	4252,23
24	D-3	18	24				4158,3	4252,23
25	D-4	27	24				4250,8	4252,23
26	D-5	36	24				4343,3	4252,23
27	D-6	45	24				4435,7	4252,23
28	D-7	55	24				4538,5	4252,23
29	E-1	0	32				3973,3	4309,37
30	E-2	9	32				4065,8	4309,37
31	E-3	18	32				4158,3	4309,37
32	E-4	27	32				4250,8	4309,37
33	E-5	36	32				4343,3	4309,37
34	E-6	45	32				4435,7	4309,37
35	E-7	55	32				4538,5	4309,37
36	F-1	0	40				3973,3	4366,51
37	F-2	9	40				4065,8	4366,51
38	F-3	18	40				4158,3	4366,51
39	F-4	27	40				4250,8	4366,51
40	F-5	36	40				4343,3	4366,51
41	F-6	45	40				4435,7	4366,51
42	F-7	55	40				4538,5	4366,51
43	G-1	0	48				3973,3	4423,65
44	G-2	9	48				4065,8	4423,65

45	G-3	18	48				4158,3	4423,65
46	G-4	27	48				4250,8	4423,65
47	G-5	36	48				4343,3	4423,65
48	G-6	45	48				4435,7	4423,65
49	G-7	55	48				4538,5	4423,65

- **Lantai 5**

Eksentrisitas X = 0,8 m

Eksentrisitas Y = 0,43 m

Mx = Eksentrisitas X. F5

= 0,8. 233.201,54

= 187.011,03 kg.m

My = Eksentrisitas Y.F5

= 0,43. 233.201,54

= 100.276,66 kg.m

$$F_{5x} = \frac{F5}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx \cdot x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{5y} = \frac{F5}{n \text{ kolom}} + \frac{My \cdot y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.32 Beban Gempa Per Kolom Lantai 5

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0				4447,04	4567,36
2	A-2	9	0				4550,55	4567,36
3	A-3	18	0				4654,06	4567,36
4	A-4	27	0				4757,57	4567,36
5	A-5	36	0				4861,08	4567,36
6	A-6	45	0				4964,60	4567,36
7	A-7	55	0				5079,61	4567,36
8	B-1	0	8				4447,04	4631,31
9	B-2	9	8				4550,55	4631,31
10	B-3	18	8				4654,06	4631,31
11	B-4	27	8				4757,57	4631,31
12	B-5	36	8				4861,08	4631,31
13	B-6	45	8				4964,60	4631,31
14	B-7	55	8				5079,61	4631,31
15	C-1	0	16				4447,04	4695,26
16	C-2	9	16				4550,55	4695,26
17	C-3	18	16				4654,06	4695,26
18	C-4	27	16				4757,57	4695,26
19	C-5	36	16				4861,08	4695,26

20	C-6	45	16	233201,54	187011,03	100276,66	4964,60	4695,26
21	C-7	55	16				5079,61	4695,26
22	D-1	0	24				4447,04	4759,22
23	D-2	9	24				4550,55	4759,22
24	D-3	18	24				4654,06	4759,22
25	D-4	27	24				4757,57	4759,22
26	D-5	36	24				4861,08	4759,22
27	D-6	45	24				4964,60	4759,22
28	D-7	55	24				5079,61	4759,22
29	E-1	0	32				4447,04	4823,17
30	E-2	9	32				4550,55	4823,17
31	E-3	18	32				4654,06	4823,17
32	E-4	27	32				4757,57	4823,17
33	E-5	36	32				4861,08	4823,17
34	E-6	45	32				4964,60	4823,17
35	E-7	55	32				5079,61	4823,17
36	F-1	0	40				4447,04	4887,12
37	F-2	9	40				4550,55	4887,12
38	F-3	18	40				4654,06	4887,12
39	F-4	27	40				4757,57	4887,12
40	F-5	36	40				4861,08	4887,12
41	F-6	45	40				4964,60	4887,12
42	F-7	55	40				5079,61	4887,12
43	G-1	0	48				4447,04	4951,07
44	G-2	9	48				4550,55	4951,07
45	G-3	18	48				4654,06	4951,07
46	G-4	27	48				4757,57	4951,07
47	G-5	36	48				4861,08	4951,07
48	G-6	45	48				4964,60	4951,07
49	G-7	55	48				5079,61	4951,07

- **Lantai atap**

Eksentrisitas X = 0,8 m

Eksentrisitas Y = 0,45 m

Mx = Eksentrisitas X. F6

= 0,8. 254.055,37

= 203.734,32 kg.m

My = Eksentrisitas Y.F6

= 0,43. 254.055,37

= 114.324,92 kg.m

$$F_{6x} = \frac{F6}{n \text{ kolom}} + \frac{Mx \cdot x}{\Sigma(X^2)}$$

$$F_{6y} = \frac{F6}{n \text{ kolom}} + \frac{My.y}{\Sigma(Y^2)}$$

Tabel 4.33 Beban Gempa Per Kolom Lantai Atap

No	As kolom	koordinat		Fx,Fy	Mx	My	Fx	Fy
		x	y					
1	A-1	0	0	254055,37	203734,32	114324,92	4844,71	4966,07
2	A-2	9	0				4957,48	4966,07
3	A-3	18	0				5070,25	4966,07
4	A-4	27	0				5183,01	4966,07
5	A-5	36	0				5295,78	4966,07
6	A-6	45	0				5408,55	4966,07
7	A-7	55	0				5533,85	4966,07
8	B-1	0	8				4844,71	5038,98
9	B-2	9	8				4957,48	5038,98
10	B-3	18	8				5070,25	5038,98
11	B-4	27	8				5183,01	5038,98
12	B-5	36	8				5295,78	5038,98
13	B-6	45	8				5408,55	5038,98
14	B-7	55	8				5533,85	5038,98
15	C-1	0	16				4844,71	5111,89
16	C-2	9	16				4957,48	5111,89
17	C-3	18	16				5070,25	5111,89
18	C-4	27	16				5183,01	5111,89
19	C-5	36	16				5295,78	5111,89
20	C-6	45	16				5408,55	5111,89
21	C-7	55	16				5533,85	5111,89
22	D-1	0	24				4844,71	5184,80
23	D-2	9	24				4957,48	5184,80
24	D-3	18	24				5070,25	5184,80
25	D-4	27	24				5183,01	5184,80
26	D-5	36	24				5295,78	5184,80
27	D-6	45	24				5408,55	5184,80
28	D-7	55	24				5533,85	5184,80
29	E-1	0	32				4844,71	5257,71
30	E-2	9	32				4957,48	5257,71
31	E-3	18	32				5070,25	5257,71
32	E-4	27	32				5183,01	5257,71
33	E-5	36	32				5295,78	5257,71
34	E-6	45	32				5408,55	5257,71
35	E-7	55	32				5533,85	5257,71
36	F-1	0	40				4844,71	5330,63
37	F-2	9	40				4957,48	5330,63
38	F-3	18	40				5070,25	5330,63
39	F-4	27	40				5183,01	5330,63
40	F-5	36	40				5295,78	5330,63

41	F-6	45	40			5408,55	5330,63
42	F-7	55	40			5533,85	5330,63
43	G-1	0	48			4844,71	5403,54
44	G-2	9	48			4957,48	5403,54
45	G-3	18	48			5070,25	5403,54
46	G-4	27	48			5183,01	5403,54
47	G-5	36	48			5295,78	5403,54
48	G-6	45	48			5408,55	5403,54
49	G-7	55	48			5533,85	5403,54

4.4 Perhitungan Struktur

4.4.1 Pelat

A. Pelat Lantai

Pada analisa perhitungan pelat lantai yang ditinjau adalah pada pelat lantai tipe S1 (5m x 4m), S3' (2,225 m x 5,3 m) berfungsi sebagai ruang kantor.

- **Pelat tipe S1 (5m x 4m)**

- Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S1
Mutu beton (fc')	= 30 MPa
Mutu baja tul.lentur (fy)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (fy)	= 320 Mpa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8
Lx	= 4 m
Ly	= 5 m

- Perhitungan pelat

$$\text{Tipe pelat} = \frac{Ly}{Lx} = \frac{5}{4} = 1,25 \leq 2 \text{ (*pelat dua arah*)}$$

- Pembebanan pada pelat

Tabel 4.34 Pembebanan pada Pelat S1

A. Beban Mati		
No	Item	beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=12cm)	288
2	Spesi (t=2cm)	40

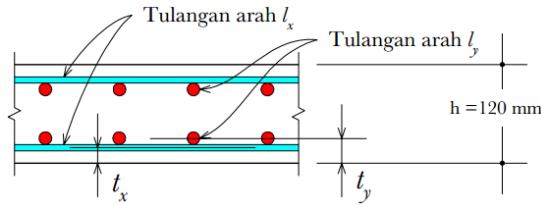
3	Keramik 40 x 40	16,5
4	Plafond	8,5
5	Penggantungan plafond	10
6	<i>Ducting mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
TOTAL (qDL)		407
B. Beban Hidup		
No	Item	beban (kg/m²)
1	R. Kantor	240
TOTAL (qLL)		240
C. Beban ultimate		
$Q_u = 1,2qDL + 1,6 qLL$		
871,8 Kg/m²		

- Momen pada pelat
Perhitungan momen berdasarkan tabel PBI 1971.

Tabel 4.35 Momen yang Terjadi pada Pelat S1

Momen		X			
Lapangan	Mlx	28	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot Lx^2 \cdot X =$	390,7	kg.m
	Mly	20	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot Lx^2 \cdot X =$	278,98	kg.m
Tumpuan	Mtx	64	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot Lx^2 \cdot X =$	892,72	kg.m
	Mty	54	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot Lx^2 \cdot X =$	753,24	kg.m

- Perhitungan
Tebal decking = 20 mm
D tulangan rencana = 13 mm
Tinggi manfaat :



$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 - 20 - 6,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f'c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30}$$

$$m = 15,686$$

- **Tulangan lapangan**

- **Arah X**

$$Mu = 390,7 \text{ kg.m} = 3.907.000 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{3.907.000}{0,9} = 4.339.627 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{4.339.627}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,496 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,496}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00125$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00125 < 0,0244 \quad \textbf{(TIDAK OK)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho \cdot 1,3 = 0,00125 \cdot 1,3 = 0,00163 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{maka gunakan } \rho_{\min} = 0,0035$$

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{\text{Spakai}} > A_{\text{Sperlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{s_{perlu}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah X digunakan **D13-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 278,98 \text{ kg.m} = 2.789.800 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2.789.800}{0,9} = 3.099.733 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{3.099.733}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,35}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00088$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00088 < 0,0244 \quad \textbf{(TIDAK OK)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho \cdot 1,3 = 0,00088 \cdot 1,3 = 0,001144 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka gunakan $\rho_{\min} = 0,0035$

$$A_{s_{\text{perlu}}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{S\text{pakai}} > A_{S\text{perlu}}$$

$$A_{S\text{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{S\text{perlu}}$$

$$A_{S\text{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{S\text{perlu}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah Y digunakan **D13-200 mm**.

- **Tulangan tumpuan**

- **Arah X**

$$M_u = 892,72 \text{ kg.m} = 8.927.200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{8.927.200}{0,9} = 9.919.147 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{9.919.147}{1000 \cdot 93,5^2} = 1,13 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,686.1,13}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00289$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00289 < 0,0244 \quad (\text{TIDAK OK})$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho \cdot 1,3 = 0,00289 \cdot 1,3 = 0,00375$$

$$A_{S\text{perlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,00375 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 351,34 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{351,34}$$

$$S = 377,79 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{S\text{pakai}} > A_{S\text{perlu}}$$

$$A_{S\text{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{S\text{perlu}}$$

$$A_{S\text{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{S\text{perlu}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 351,34 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 tumpuan X digunakan **D13-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 753,24 \text{ kg.m} = 7.532.400 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{7.532.400}{0,9} = 8.369.280 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{8.369.280}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,96}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00244$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,00244 < 0,0244 \quad (\text{TIDAK OK})$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho \cdot 1,3 = 0,00244 \cdot 1,3 = 0,00317 \text{ (tidak memenuhi)}$$

$$\text{maka gunakan } \rho_{\min} = 0,0035$$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat spasi tulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{maks} > S_{tul}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{Spakai} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{Sperlu}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 tumpuan arah Y digunakan **D13-200 mm**.

- **Kontrol**

- Kontrol lendutan dan retak

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700\sqrt{f_{c'}} = 4700\sqrt{30}$$

$$E_c = 25.742,96 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja ($E_s = 200.000 \text{ MPa}$)

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{25.742,96} = 7,77$$

Batas lendutan maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{l_x}{240} = \frac{4000}{240} = 16,67 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 120^3$$

$$I_g = 144.000.000 \text{ mm}^4$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \cdot \frac{A_{s_{pakai}}}{b}$$

$$c = 7,77 \cdot \frac{393}{1000}$$

$$c = 3,054$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{Es}{Ec} \left[A_s + \frac{P_u \cdot h}{f_y \cdot s_d} \right] (d - c)^2 + \frac{I_x \cdot c^2}{3}$$

$$I_{cr} = 7,77[393 + 0](95 - 3,054)^2$$

$$+ \frac{4000 \cdot 3,054^2}{3}$$

$$I_{cr} = 25.853.402,48 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata

$$Q_u = 1485,2 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_u = 0,014852 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (M_a)

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot l_x^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot 1485,2 \cdot 4^2$$

$$Ma = 2970,4 \text{ kg.m}$$

$$Ma = 29.704.000 \text{ N.mm}$$

Modulus keruntuhan beton (fr)

$$fr = 0,62\lambda\sqrt{fc'}$$

$$fr = 0,62.1.\sqrt{30}$$

$$fr = 3,39 \text{ MPa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{fr \cdot Ig}{yt}$$

$$M_{cr} = \frac{3,39.144.000.000}{120/2}$$

$$M_{cr} = 8.150.111,656 \text{ N.mm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3 \cdot Ig + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{Ma}\right)^3\right] \cdot I_{cr}$$

$$I_e = \left(\frac{8.150.111,656}{29.704.000}\right)^3 \cdot 144.000.000 + \left[1 - \left(\frac{8.150.111,656}{29.704.000}\right)^3\right] \cdot 25.853.402,48$$

$$I_e = 28.293.836,59 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Qu \cdot lx^4}{Ec \cdot I_e} \right)$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,014852 \cdot 4000^4}{25.742,96 \cdot 28.293.836,59} \right)$$

$$\delta e = 0,06797 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{As}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{393}{1000 \cdot 95}$$

$$\rho = 0,00414$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + 50 \cdot 0,00414)}$$

$$\lambda = 1,657$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Qu \cdot lx^4}{Ec \cdot Ie} \right)$$

$$\delta g = 1,657 \cdot \frac{5}{384} \left(\frac{0,014852 \cdot 4000^4}{25.742,96 \cdot 28.293.836,59} \right)$$

$$\delta g = 0,1126 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_g$$

$$\delta_{total} = 0,06797 + 0,1126$$

$$\delta_{total} = 0,18057 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\delta_{total} < \Delta_{ijin}$$

$$0,18057 \text{ mm} < 16,67 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$\begin{aligned} F_s &= 0,6 \cdot f_y \\ &= 0,6 \cdot 400 \\ &= 240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_c &= t_{\text{selimut}} - \frac{1}{2} d_{\text{tul}} \\ &= 20 - (\frac{1}{2} \cdot 10) \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas efektif beton tarik (A_e)

$$\begin{aligned} A_e &= 2 \cdot d_c \cdot S_{\text{tul}} \\ &= 2 \cdot 15 \cdot 100 \\ &= 3000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\begin{aligned} \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \beta f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A_e} \\ \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 240 \sqrt[3]{15 \cdot 3000} \\ \omega &= 0,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} \omega &< 0,4 \text{ mm} \\ 0,08 \text{ mm} &< 0,4 \text{ mm} \quad (\text{OK}) \end{aligned}$$

- **Pelat tipe S3' (2,225 m x 5,3 m)**

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S3'
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tul.lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 Mpa
β	= 0,85
φ	= 0,8
Lx	= 2,225 m

$$L_y = 5,3 \text{ m}$$

➤ Perhitungan pelat

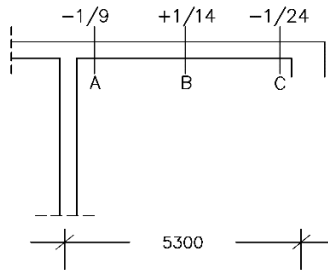
$$\text{Tipe pelat} = \frac{L_y}{L_x} = \frac{5,3}{2,225} = 2,38 > 2 \text{ (*pelat satu arah*)}$$

- Pembebanan pada pelat

Tabel 4.36 Pembebanan pada Pelat S3'

A. Beban Mati		
No	Item	beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=12cm)	288
2	Spesi (t=2cm)	40
3	Keramik 40 x 40	16,5
4	Plafond	8,5
5	Penggantung plafond	10
6	<i>Ducting mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
TOTAL (qDL)		407
B. Beban Hidup		
No	Item	beban (kg/m ²)
1	Koridor	383
TOTAL (qLL)		383
C. Beban ultimate		
$Q_u = 1,2qDL + 1,6 qLL$		
1100,6 Kg/m²		

- Momen pada pelat
Perhitungan momen berdasarkan SNI 03-2847-2013.



Gambar 4.13 Momen Pelat 1 Arah

Bentang bersih pelat adalah 21,62 m. Momen terbesar pada pelat tepi adalah $Q_u \cdot L^2/9$ (di titik A), sehingga :

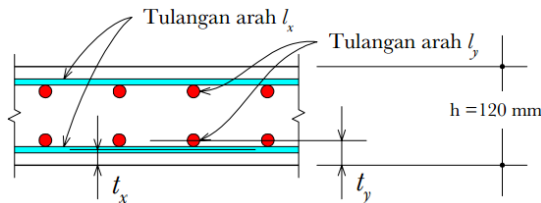
$$M_u = \frac{Q_u L^2}{9} = 2644,19 \text{ kg.m}$$

- Perhitungan

Tebal decking = 20 mm

D tulangan rencana = 13 mm

Tinggi manfaat :



$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 - 20 - 6,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30}$$

$$m = 15,686$$

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{2644,19}{1000 \cdot 93,5^2} = 3,025$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 3,025}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00244$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$0,0035 < 0,008 < 0,0244 \quad \textbf{(OK)}$$

$$A_{sperlu} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,008 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 754,8 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{maks} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{754,8}$$

$$S = 175,85 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 100 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{maks} > S_{tul}$$

$$240 \text{ mm} > 100 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-100 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{Spakai} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{Sperlu}$$

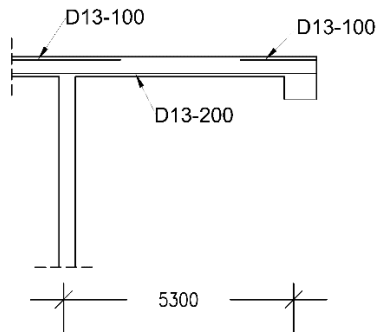
$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{100} > A_{Sperlu}$$

$$1327,32 \text{ mm} > 754,8 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Momen dan tulangan pada titik lain dihitung dalam tabel berikut, dengan menggunakan $d = 93,5 \text{ mm}$:

Tabel 4.37 Momen yang Terjadi pada Pelat S3'

lokasi	Koefisien momen	Mu (kg.m)	Rn (MPa)	ρ	As (mm ²)	tulangan
A	-1/9	2644,19	2,93	0,008	754,8	D13-100
B	+1/14	926,68	1,94	0,005	473,3	D13-200
C	-1/24	540,56	1,13	0,0029	271,3	D13-100



Gambar 4.14 Penulangan Pelat S3'

B. Pelat Atap

Pada analisa perhitungan pelat atap yang ditinjau adalah pada pelat atap tipe S1A (5m x 4m) dan S3A (5,3m x 2,25m) dan berfungsi sebagai atap datar.

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S1-A
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tul.lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 MPa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8
L_x	= 4 m
L_y	= 5 m

➤ Perhitungan pelat

$$\text{Tipe pelat} = \frac{L_y}{L_x} = \frac{5}{4} = 1,25 \leq 2 \text{ (*pelat dua arah*)}$$

- Pembebanan pada pelat

Tabel 4.38 Pembebanan Pada Pelat S1-A

A. Beban Mati		
No	Item	beban (kg/m ²)

1	Berat sendiri (t=12cm)	288
2	Spesi (t=2cm)	40
3	<i>waterproofing</i>	5
4	Plafond	8.5
5	Penggantung plafond	10
6	<i>Ducting mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
TOTAL (qDL)		395,5
B. Beban Hidup		
No	Item	beban (kg/m²)
1	Atap datar	96
TOTAL (qLL)		96
C. Beban Ultimate		
$Q_u = 1,2qDL + 1,6 qLL$		
628,2 Kg/m²		

- Momen pada pelat
Perhitungan momen berdasarkan tabel PBI 1971.

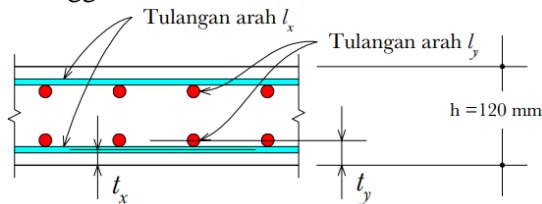
Tabel 4.39 Momen yang Terjadi pada Pelat S1-A

Momen		X			
Lapangan	Mlx	28	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X =$	281,43	kg.m
	Mly	20	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X =$	201,02	kg.m
Tumpuan	Mtx	64	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X =$	643,28	kg.m
	Mty	54	$+ 0,001 \cdot Q_u \cdot L_x^2 \cdot X =$	542,76	kg.m

- Perhitungan
Tebal decking $= 20 \text{ mm}$

D tulangan rencana = 10 mm

Tinggi manfaat :



$$d_x = t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}})$$

$$= 120 - 20 - 5$$

$$= 93,5 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{\max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30}$$

$$m = 15,686$$

- **Tulangan lapangan**

- **Arah X**

$$M_u = 281,43 \text{ kg.m} = 2.814.300 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2.814.300}{0,9} = 3.127.000 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{3.127.000}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,36}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0009$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0009 < 0,0244 \quad \textbf{(TIDAK OK)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho \cdot 1,3 = 0,0009 \cdot 1,3 = 0,0012 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka gunakan $\rho_{\min} = 0,0035$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{Spakai} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{Sperlu}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm}$$

(OK)

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah X digunakan **D13-200 mm**.

- **Arah Y**

$$M_u = 201,02 \text{ kg.m} = 2.010.200 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{2.010.200}{0,9} = 2.233.555,56 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{2.233.555,56}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,26}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00064$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$0,0035 > 0,00064 < 0,0244$$

(TIDAK OK)

$$\rho_{perlu} = \rho \cdot 1,3 = 0,00064 \cdot 1,3 = 0,0008 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka gunakan $\rho_{min} = 0,0035$

$$A_{Sperlu} = \rho_{min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{maks} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$A_{S_{\text{pakai}}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah Y digunakan **D13-200 mm**.

- **Tulangan tumpuan**

- **Arah X**

$$M_u = 643,28 \text{ kg.m} = 6.432.800 \text{ N.mm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{6.432.800}{0,9} = 7.147.555,56 \text{ N.mm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{7.147.555,56}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,82 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,686.0,82}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0021$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0021 < 0,0244 \quad \textbf{(TIDAK OK)}$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \rho.1,3 = 0,0021.1,3 = 0,0027 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka gunakan $\rho_{\min} = 0,0035$

$$A_{s\text{perlu}} = \rho_{\min}.b.d = 0,0035. 1000.93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{s\text{pakai}} > A_{s\text{perlu}}$$

$$A_{s\text{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S} > A_{s\text{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{s_{perlu}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah Y digunakan **D13-200 mm**.

- **Arah Y**

$$Mu = 542,76 \text{ kg.m} = 5.427.600 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{5.427.600}{0,9} = 6.030.666,67 \text{ N.mm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{6.030.666,67}{1000 \cdot 93,5^2} = 0,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,69}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00175$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$0,0035 > 0,00175 < 0,0244 \quad (\text{TIDAK OK})$$

$$\rho_{perlu} = \rho \cdot 1,3 = 0,00175 \cdot 1,3 = 0,0023 \text{ (tidak memenuhi)}$$

maka gunakan $\rho_{min} = 0,0035$

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 327,5 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{maks} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{327,5}$$

$$S = 405,6 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\text{maks}} > S_{\text{tul}}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{\text{Spakai}} > A_{\text{Sperlu}}$$

$$A_{\text{Spakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{\text{Sperlu}}$$

$$A_{\text{Spakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{\text{Sperlu}}$$

$$663,66 \text{ mm} > 327,5 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai S1 lapangan arah Y digunakan **D13-200 mm**.

• Kontrol

- Kontrol lendutan dan retak

Modulus elastisitas beton (E_c)

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30}$$

$$E_c = 25.742,96 \text{ MPa}$$

Modulus elastisitas baja ($E_s = 200.000 \text{ MPa}$)

Rasio modulus elastisitas (n)

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200.000}{25.742,96} = 7,77$$

Batas lendutan maksimal (Δ_{ijin})

$$\Delta_{ijin} = \frac{lx}{240} = \frac{4000}{240} = 16,67 \text{ mm}$$

Momen inersia pelat (I_g)

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3$$

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot 1000 \cdot 120^3$$

$$I_g = 144.000.000 \text{ mm}^4$$

Jarak garis netral terhadap sisi atas (c)

$$c = n \cdot \frac{A_{spakai}}{b}$$

$$c = 7,77 \cdot \frac{393}{1000}$$

$$c = 3,054$$

Momen inersia penampang retak

$$I_{cr} = \frac{Es}{Ec} \left[As + \frac{Pu \cdot h}{fy \cdot sd} \right] (d - c)^2 + \frac{lx \cdot c^2}{3}$$

$$I_{cr} = 7,77 [393 + 0] (95 - 3,054)^2 + \frac{4000 \cdot 3,054^2}{3}$$

$$I_{cr} = 25.853.402,48 \text{ mm}^4$$

Beban terfaktor merata

$$Q_u = 598,2 \text{ kg/m}^2$$

$$Q_u = 0,005982 \text{ N/mm}^2$$

Momen maksimum (M_a)

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot Q_u \cdot lx^2$$

$$M_a = \frac{1}{8} \cdot 598,2 \cdot 4^2$$

$$M_a = 1.196,4 \text{ kg} \cdot m$$

$$M_a = 11.964.000 \text{ N} \cdot mm$$

Modulus keruntuhan beton (f_r)

$$f_r = 0,62\lambda\sqrt{f'c'}$$

$$f_r = 0,62.1.\sqrt{30}$$

$$f_r = 3,39 \text{ MPa}$$

Momen retak (M_{cr})

$$M_{cr} = \frac{f_r . I_g}{y_t}$$

$$M_{cr} = \frac{3,39.144.000.000}{120/2}$$

$$M_{cr} = 8.150.111,656 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Momen inersia (I_e)

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 . I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] . I_{cr}$$

$$I_e$$

$$= \left(\frac{8.150.111,656}{11.964.000}\right)^3 . 144.000.000$$

$$+ \left[1 - \left(\frac{8.150.111,656}{11.964.000}\right)^3\right] . 25.853.402,48$$

$$I_e = 63.202.720,96 \text{ mm}^4$$

Lendutan elastis (δ_e)

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{Q_u . l x^4}{E_c . I_e} \right)$$

$$\delta_e = \frac{5}{384} \left(\frac{0,005982 . 4000^4}{25.742,96 . 63.202.720,96} \right)$$

$$\delta_e = 0,01226 \text{ mm}$$

Rasio tulangan slab lantai (ρ)

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

$$\rho = \frac{393}{1000 \cdot 95}$$

$$\rho = 0,00414$$

Faktor ketergantungan waktu ≥ 5 tahun

$$\xi = 2$$

$$\lambda = \frac{\xi}{(1 + 50\rho)}$$

$$\lambda = \frac{2}{(1 + 50 \cdot 0,00414)}$$

$$\lambda = 1,657$$

Lendutan jangka waktu 5 tahun

$$\delta_g = \lambda \frac{5}{384} \left(\frac{Qu \cdot lx^4}{Ec \cdot Ie} \right)$$

$$\delta_g = 1,657 \cdot \frac{5}{384} \left(\frac{0,014852 \cdot 4000^4}{25.742,96 \cdot 28.293.836,59} \right)$$

$$\delta_g = 0,0203 \text{ mm}$$

Lendutan total

$$\delta_{total} = \delta_e + \delta_g$$

$$\delta_{total} = 0,01226 + 0,0203$$

$$\delta_{total} = 0,03256 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\delta_{total} < \Delta_{ijin}$$

$$0,03256 \text{ mm} < 16,67 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Tegangan ijin pada tulangan (f_s)

$$F_s = 0,6 \cdot f_y$$

$$= 0,6 \cdot 400$$

$$= 240 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 d_c &= t_{\text{selimut}} - \frac{1}{2} d_{\text{tul}} \\
 &= 20 - (\frac{1}{2} \cdot 10) \\
 &= 15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas efektif beton tarik (A_e)

$$\begin{aligned}
 A_e &= 2 \cdot d_c \cdot S_{\text{tul}} \\
 &= 2 \cdot 15 \cdot 200 \\
 &= 6000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Nilai lebar retak (ω)

$$\begin{aligned}
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \beta f_s \sqrt[3]{d_c \cdot A_e} \\
 \omega &= 11 \cdot 10^{-6} \cdot 0,85 \cdot 240 \sqrt[3]{15 \cdot 6000} \\
 \omega &= 0,101 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}
 \omega &< 0,4 \text{ mm} \\
 0,101 \text{ mm} &< 0,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(OK)

- **Pelat tipe S3' (2,225 m x 5,3 m)**

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= S3'
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tul.lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. Geser (f_y)	= 320 Mpa
β	= 0,85
φ	= 0,8
L_x	= 2,225 m
L_y	= 5,3 m

➤ Perhitungan pelat

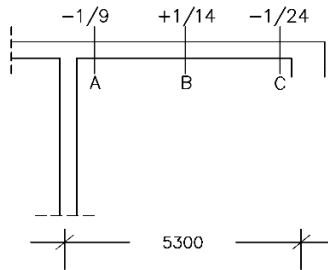
$$\text{Tipe pelat} = \frac{L_y}{L_x} = \frac{5,3}{2,225} = 2,38 > 2 \text{ (*pelat satu arah*)}$$

- Pembebanan pada pelat

Tabel 4.40 Pembebanan pada Pelat S3'-A

A. Beban Mati		
No	Item	beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=12cm)	288
2	Spesi (t=2cm)	40
3	<i>waterproofing</i>	5
4	Plafond	8.5
5	Penggantung plafond	10
6	<i>Ducting mechanical</i>	19
7	Pemipaan	25
TOTAL (qDL)		395,5
B. Beban Hidup		
No	Item	beban (kg/m ²)
1	Atap datar	96
TOTAL (qLL)		96
C. Beban Ultimate		
$Q_u = 1,2qDL + 1,6 qLL$		
628,2 Kg/m²		

- Momen pada pelat
Perhitungan momen berdasarkan SNI 03-2847-2013.



Gambar 4.15 Momen Pelat 1 Arah

Bentang bersih pelat adalah 21,62 m. Momen terbesar pada pelat tepi adalah $Q_u.L^2/9$ (di titik A), sehingga :

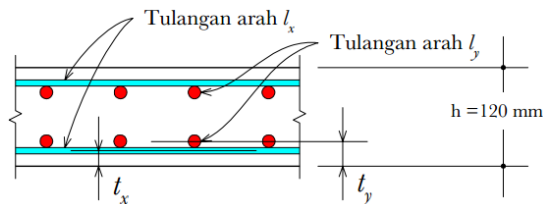
$$M_u = \frac{Q_u L^2}{9} = 1509,25 \text{ kg.m}$$

- Perhitungan

Tebal decking = 20 mm

D tulangan rencana = 13 mm

Tinggi manfaat :



$$\begin{aligned} dx &= t_{\text{pelat}} - t_{\text{decking}} - (1/2 d_{\text{rencana}}) \\ &= 120 - 20 - 6,5 \\ &= 93,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y}$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{400}$$

$$\rho_{\min} = 0,0035$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} \right) \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,75 \left(\frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \right) \left(\frac{600}{600 + 400} \right)$$

$$\rho_{max} = 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$m = \frac{400}{0,85 \cdot 30}$$

$$m = 15,686$$

$$Rn = \frac{Mu}{b \cdot d^2} = \frac{1509,25}{1000 \cdot 93,5^2} = 1,7$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{f_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 1,7}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0045$$

Syarat :

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{maks}$$

$$0,0035 < 0,0045 < 0,0244 \quad \textbf{(OK)}$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \cdot b \cdot d = 0,0045 \cdot 1000 \cdot 93,5 = 418,2 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{maks} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(120 \text{ mm})$$

$$S_{maks} = 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D-13**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{418,2}$$

$$S = 317,38 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{maks} > S_{tul}$$

$$240 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

(OK)

Tulangan yang dipakai : **D13-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{Spakai} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{Sperlu}$$

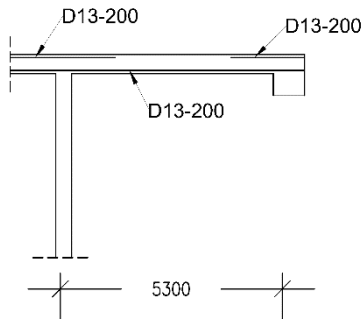
$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 13^2 \cdot 1000}{200} > A_{Sperlu}$$

$$663,66 \text{ mm} > 418,2 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Momen dan tulangan pada titik lain dihitung dalam tabel berikut, dengan menggunakan $d = 93,5 \text{ mm}$:

Tabel 4.41 Momen yang Terjadi pada Pelat S3'-A

lokasi	Koefisien momen	Mu (kg.m)	Rn (MPa)	ρ	As (mm ²)	tulangan
A	-1/9	1509,25	1,7	0,0045	418,2	D13-200
B	+1/14	970,23	1,1	0,0028	265,3	D13-200
C	-1/24	565,97	0,65	0,0016	153,3	D13-200



Gambar 4.16 Penulangan Pelat S3-A

4.4.2 Tangga dan Bordes

Dalam perhitungan pelat tangga utama, tangga yang dipilih adalah tangga penghubung lantai 1 dengan lantai 2. Untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes, menentukan momen yang terjadi pada pelat dengan 2 cara yaitu dihitung dengan menggunakan metode *cross* dan berdasarkan *output* aplikasi SAP 2000. Dari kedua hasil momen tersebut diambil nilai terbesar untuk menghitung penulangan pelat tangga dan pelat bordes.

➤ Data-data perencanaan :

Tipe pelat	= tangga utama
Mutu beton (f_c')	= 30 MPa
Mutu baja tul. Lentur (f_y)	= 400 MPa
Mutu baja tul. geser (f_y)	= 320 MPa
β	= 0,85
ϕ	= 0,8
Tebal pelat tangga	= 23 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
Diameter tulangan lentur	= 10 mm
Diameter tulangan susut	= 8 mm

➤ Pembebanan pada tangga dan bordes

1. Beban mati (DL)

Beban mati untuk tangga :

Tabel 4.42 Beban Mati untuk Tangga

A. Beban Mati			
No	Item		Beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=23 cm)	=	552
2	Spesi (t=2 cm)	=	40
3	Keramik (t=1 cm)	=	16.5
Total		=	608.5

Beban mati untuk bordes :

Tabel 4.43 Beban Mati untuk Bordes

A. Beban Mati			
No	Item		Beban (kg/m ²)
1	Berat sendiri (t=15 cm)	=	360
2	Spesi (t=2 cm)	=	40
3	Keramik (t=1 cm)	=	16.5
Total		=	416.5

2. Beban hidup (LL)

Beban hidup tangga dan bordes :

Tabel 4.44 Beban Hidup untuk Tangga & Bordes

A. Beban Hidup			
No	Item		Beban (kg/m ²)
1	Tangga dan jalan keluar	=	479
Total		=	479

3. Beban ultimate

Beban ultimate untuk tangga :

$$\begin{aligned}
 q_U \text{ tangga} &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\
 &= 1,2 \cdot 608,5 + 1,6 \cdot 479
 \end{aligned}$$

$$= 1496,6 \text{ kg/m}^2$$

Beban ultimate untuk bordes :

$$\begin{aligned} qU \text{ bordes} &= 1,2 \text{ qDL} + 1,6 \text{ qLL} \\ &= 1,2.416,5 + 1,6.479 \\ &= 1266,2 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk beban merata yang terjadi :

Pada pelat tangga (datar) = qU tangga x lebar tangga

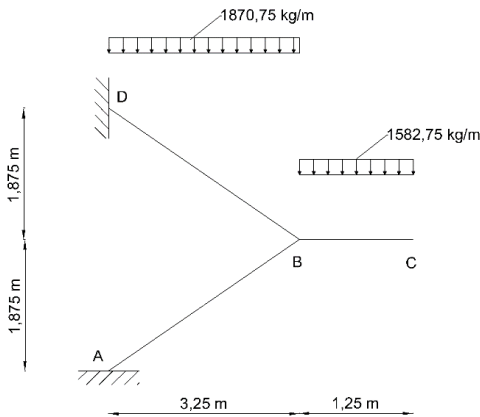
$$\begin{aligned} &= 1496,6 \text{ kg/m}^2 \times 1,25 \text{ m} \\ &= 1870,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Pada pelat bordes = qU bordes x lebar bordes

$$\begin{aligned} &= 1266,2 \text{ kg/m}^2 \times 1,25 \text{ m} \\ &= 1582,75 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

➤ Perhitungan penulangan pelat :

• **Metode Cross**



Gambar 4.17 Beban Merata pada Tangga & Bordes

Penyelesaian untuk *cross*/distribusi momen :

$$\begin{aligned} \mu_{BA}; \mu_{BC}; \mu_{BD} &= \frac{4EI}{L} : \frac{0EI}{L} : \frac{4EI}{L} \\ &= \frac{4EI}{3,25m} : \frac{0EI}{1,25m} : \frac{4EI}{3,25m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1,23 \text{ EI} : 0 : 1,23 \text{ EI} \\
 &= 0,5 : 0 : 0,5 \\
 \text{Kontrol} \quad &= 0,5 + 0 + 0,5 = 1 \quad (\text{OK}) \\
 \mu_{BA} = 0; \mu_{BC} = 0; \mu_{BD} = 0
 \end{aligned}$$

Momen primer yang terjadi :

$$\begin{aligned}
 \text{MF BA} &= \frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 1870,5 \text{ kg/m} \cdot (3,25\text{m})^2 \\
 &= 1646,65 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MF AB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 1870,5 \text{ kg/m} \cdot (3,25\text{m})^2 \\
 &= -1646,65 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MF BC} &= -\frac{1}{2} \cdot q_{bordes} \cdot L^2 = -\frac{1}{2} \cdot 1582,75 \text{ kg/m} \cdot (1,25\text{m})^2 \\
 &= -1236,52 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MF DB} &= -\frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = -\frac{1}{12} \cdot 1870,5 \text{ kg/m} \cdot (3,25\text{m})^2 \\
 &= -1646,65 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{MF BD} &= \frac{1}{12} \cdot q_{tangga} \cdot L^2 = \frac{1}{12} \cdot 1870,5 \text{ kg/m} \cdot (3,25\text{m})^2 \\
 &= 1646,65 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.45 Perhitungan Momen Tangga & Bordes

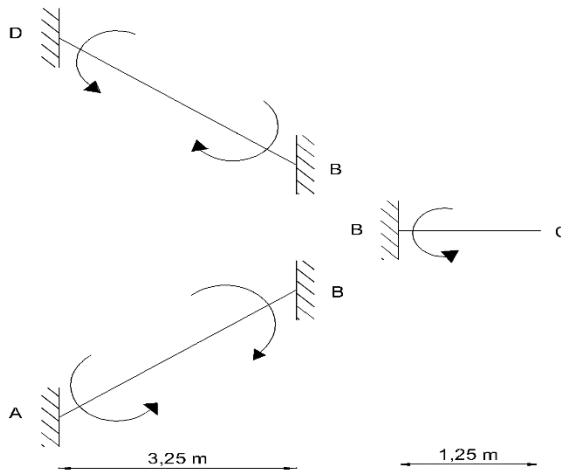
Titik Batang	A	B			D
	AB	BA	BC	BD	DB
FD	0	-0,5	0	-0,5	0
MF	-1646,65	1646,65	-1236,52	1646,65	- 1646,65
MD	0	-1028,40	0	-1028,40	0
MI	-514,2	0	0	0	-514,2
MD	0	0	0	0	0
Makhir	-2160,84	618,26	-1236,52	618,26	- 2160,84

Kontrol, $\Sigma M_B = 0$

$$M_{BA} + M_{BC} + M_{BD} = 0$$

$$618,26 - 1236,52 + 618,26 = 0$$

$$0 = 0 \text{ (OK)}$$



Gambar 4.18 Arah Momen yang Terjadi pada Tangga & Bordes

Maka, gaya yang terjadi pada batang AB adalah :

$$L = 3,25 \text{ m}$$

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-V_b \cdot 3,25 \text{ m} + 618,26 \text{ kg} \cdot \text{m} - 2160,84 \text{ kg} \cdot \text{m} + 0,5 \cdot 1870,75 \text{ kg} \cdot (3,25 \text{ m})^2 = 0$$

$$V_b = 2565,33 \text{ Kg}$$

$$\Sigma M_B = 0$$

$$V_a \cdot 3,25 \text{ m} - 2160,84 \text{ kg} \cdot \text{m} + 618,26 \text{ kg} \cdot \text{m} - 0,5 \cdot 1870,75 \text{ kg} \cdot (3,25 \text{ m})^2 = 0$$

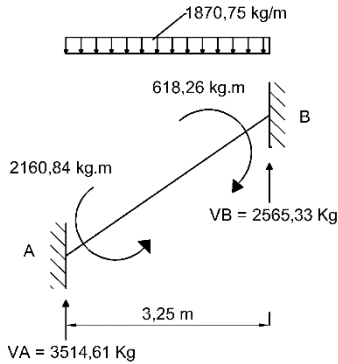
$$V_a = 3514,61 \text{ Kg}$$

$$\text{Kontrol, } \Sigma V = 0$$

$$V_a + V_b - q \cdot L = 0$$

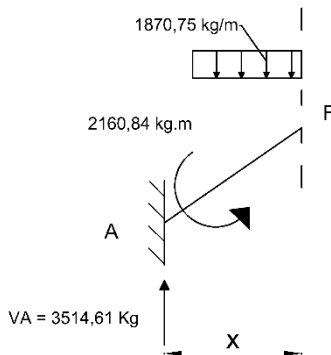
$$3514,61 \text{ Kg} + 2565,328 \text{ Kg} - 1870,75 \text{ Kg/m} \cdot 3,25 \text{ m} = 0$$

$$0 = 0 \text{ (OK)}$$



Gambar 4.19 Hasil Perhitungan V_A dan V_B

Momen maksimum terjadi pada gaya lintang $D=0$ pada jarak x , sehingga :



Gambar 4.20 Jarak Momen Maksimal yang Terjadi

$$\Sigma V = 0$$

$$V_a - q \cdot x = 0$$

$$3514,61 \text{ kg} - 1870,75 \text{ kg/m} \times X = 0$$

$$X = 1,91 \text{ m}$$

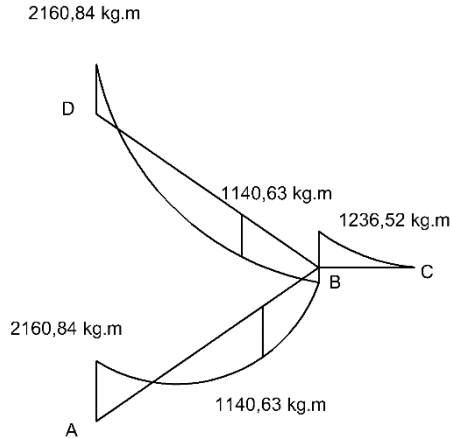
Maka untuk momen maksimum yang terjadi adalah :

$$M_{\max} = V_a \cdot x - 0,5 \cdot q \cdot x^2 - M_{AB}$$

$$= 3514,61 \text{ kg} \cdot 1,91 \text{ m} - 0,5.1870,75 \text{ kg/m} \cdot (1,91 \text{ m})^2$$

$$- 2160,84 \text{ kg} \cdot \text{m} = 1140,63 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

Maka untuk diagram momen yang terjadi adalah:



Gambar 4.21 Momen Maksimal yang Terjadi

Untuk momen yang ditinjau menggunakan program bantu SAP 2000 dengan permodelan tangga yang terpisah dengan bangunan, didapatkan nilai sebagai berikut:

Tangga:

M11 : 3204,73 kg.m (arah X)

M22 : 17605,55 kg.m (arah Y)

Bordes:

M11 : 5899,3 kg.m (arah X)

M22 : 8257,41 kg.m (arah Y)

Maka momen yang ditinjau untuk penulangan adalah diambil terbesar antara perhitungan manual dan perhitungan menggunakan program bantu SAP 2000 v.14, sehingga didapatkan:

Momen pelat tangga = 3204,73 kg.m (arah X)

Momen bordes = 8257,41 kg.m (arah Y)

➤ Penulangan Tangga

- Arah X

$$Mu = 3204,73 \text{ kgm} = 32.047.300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{32.047.300}{0,9} = 35.608.111,11 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{35.608.111,11}{1000 \cdot 202^2} = 0,87$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 0,87}{400}} \right) = 0,0022$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 > 0,0022 < 0,0244 \quad \textbf{(OK)}$$

Maka, ρ diperbesar 30%, $\rho_{\text{perlu}} = 1,3 \times 0,0022 = 0,0029$

$$A_{\text{Sperlu}} = \rho_{\min} \cdot b \cdot d = 0,0035 \cdot 1000 \cdot 202 = 707 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2(230 \text{ mm})$$

$$S_{\max} = 460 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D16**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{708}$$

$$S = 284,39 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{\max} > S_{\text{tul}}$$

$$460 \text{ mm} > 200 \text{ mm}$$

(OK)

Tulangan yang dipakai : **D16-200 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{s_{pakai}} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{s_{perlu}}$$

$$A_{s_{pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{200} > A_{s_{perlu}}$$

$$1005,31 \text{ mm}^2 > 708 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Jadi, untuk tulangan tangga arah X digunakan **D16-200 mm**.

- Tulangan susut dan suhu

$$\rho_{\text{susut}} = 0,0018$$

$$A_{s_{\text{susut}}} = \rho_{\text{susut}} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 202 \text{ mm}$$

$$= 363,6 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$

$$S_{\text{maks}} = 5h$$

$$S_{\text{maks}} = 5(230 \text{ mm})$$

$$S_{\text{maks}} = 1150 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D10**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{363,6}$$

$$S = 216 \text{ mm}$$

Dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{tul}}$$

$$1150 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai: **D10-200 mm**

$$As_{pakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s}$$

$$As_{pakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{200}$$

$$As_{pakai} = 392,7 \text{ mm}^2$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} As_{pakai} & > & As_{perlu} \\ 392,7 \text{ mm}^2 & > & 363,6 \text{ mm}^2 \end{array} \quad \text{(OK)}$$

Jadi, untuk tulangan susut pelat tangga digunakan **D10-200 mm**.

➤ Penulangan Bordes

- Arah Y

$$Mu = 8257,41 \text{ kgm} = 82.574.100 \text{ N.mm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi} = \frac{82.574.100}{0,9} = 91.749.000 \text{ Nmm}$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{91.749.000}{1000 \cdot 122^2} = 6,16$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,686} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,686 \cdot 6,16}{400}} \right) = 0,0179$$

Syarat :

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0179 < 0,0244 \quad \text{(OK)}$$

$$As_{perlu} = \rho \cdot b \cdot d = 0,0179 \cdot 1000 \cdot 122 = 2187,82 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi tulangan : $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{maks} = 2(230 \text{ mm})$$

$$S_{maks} = 460 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan **D16**

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$S = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{2187,82}$$

$$S = 91,9 \text{ mm}$$

Maka dipakai **S = 90 mm**

Kontrol jarak tulangan

$$S_{maks} > S_{tul}$$

$$460 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

(OK)

Tulangan yang dipakai : **D16-90 mm**

Syarat luas tulangan :

$$A_{Spakai} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} > A_{Sperlu}$$

$$A_{Spakai} = \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 16^2 \cdot 1000}{90} > A_{Sperlu}$$

$$2234,02 \text{ mm}^2 > 2187,82 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi, untuk tulangan pelat lantai tumpuan arah X digunakan **D16-90 mm**.

- Tulangan susut dan suhu

$$\rho_{susut} = 0,0018$$

$$A_{Ssusut} = \rho_{susut} \cdot b \cdot d$$

$$= 0,0018 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 122 \text{ mm}$$

$$= 219,6 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antar tulangan: $S_{maks} \geq S_{tul}$

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= 5h \\
 S_{maks} &= 5(150 \text{ mm}) \\
 S_{maks} &= 750 \text{ mm} \\
 \text{Dipakai tulangan } &\mathbf{D10}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s} \\
 S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{219,6} \\
 S &= 357,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai **S = 200 mm**

Kontrol jarak tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{tul} \\
 750 \text{ mm} &\geq 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan yang dipakai: **D10-200 mm**

$$\begin{aligned}
 A_{s_{pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{s} \\
 A_{s_{pakai}} &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 1000}{200} \\
 A_{s_{pakai}} &= 392,7 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{s_{pakai}} &> A_{s_{perlu}} \\
 392,7 \text{ mm}^2 &> 219,6 \text{ mm}^2 \quad \quad \quad \mathbf{(OK)}
 \end{aligned}$$

Jadi, untuk tulangan susut pelat tangga digunakan **D10-200 mm**.

4.4.3 Balok

4.4.3.1 Balok Induk

Perhitungan balok induk diambil dari data balok induk BI1. Berikut adalah data perencanaan balok induk, gambar pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa

SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	= BI1
Bentang balok	= 10000 mm
Dimensi balok (b)	= 450 mm
Dimensi balok (h)	= 650 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	= 25 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	= 13 mm
Diameter tulangan puntir (D)	= 19 mm
Spasi antar tulangan sejajar	= 30 mm
	(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton = 40 mm
(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c))

Faktor β_1 = 0,85
(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)

Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan balok :

- Tinggi efektif balok:

$$d = h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2}\emptyset_{\text{tulangan lentur}}$$

$$d = 650 - 40 - 13 - \frac{1}{2} \cdot 25$$

$$d = 597,5 \text{ mm}$$

- Hasil output SAP 2000:

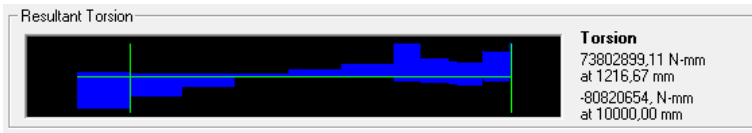
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari

program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa.

Hasil output torsi

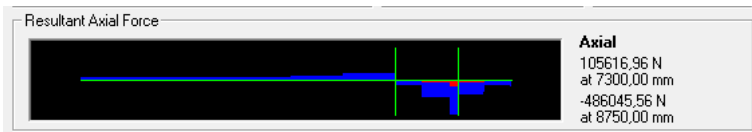
Kombinasi : envelope
Momen puntir : 80.820.654 Nmm



Gambar 4.22 Momen Torsi Balok BI1

Hasil output aksial

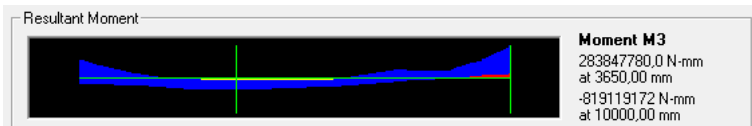
Kombinasi : envelope
Gaya aksial : 486.045 N



Gambar 4.23 Gaya Aksial Balok BI1

Hasil output momen lentur

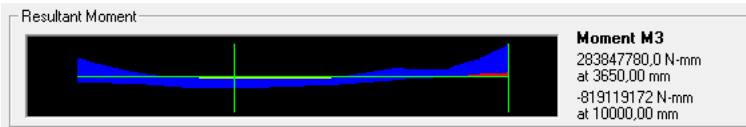
Kombinasi : envelope
Momen lentur lapangan : 283.847.780 Nmm



Gambar 4.24 Momen Lapangan dan Tumpuan Kanan Balok BI1

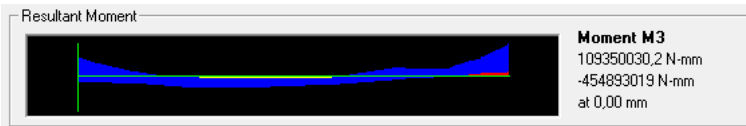
Kombinasi : envelope

Momen lentur tumpuan kanan : 819.119.172 Nmm



Gambar 4.25 Momen Lapangan dan Tumpuan Kanan Balok BI1

Kombinasi : envelope
 Momen lentur tumpuan kiri : 454.893.019 Nmm

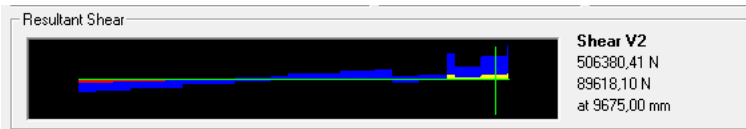


Gambar 4.26 Momen Tumpuan Kiri Balok BI1

Hasil output gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Kombinasi : envelope
 Gaya geser : 506.380,41 N



Gambar 4.27 Gaya Geser Balok BI1

- Syarat gaya aksial balok :
 Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **P_u**,

untuk komponen struktur tidak melebihi $\mathbf{Ag.fc'/10}$ dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{Ag Fc'}{10} = \frac{450mm \times 650mm \times 30MPa}{10}$$

$$\frac{Ag Fc'}{10} = 877500 N$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi envelope.

Maka sesuai persamaan :

$$Pu < \frac{Ag Fc'}{10}$$

$$486.045 N < 877.500 N \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 450mm \times 650mm$$

$$A_{cp} = 292.500 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 \text{ mm} + 650 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2.200 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) \times (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 198.849 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2.t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm}) + (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 12 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.828 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan puntir**

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi envelope.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 80.820.654 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{80.820.654}{0,75} = 107.760.872 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor ***Tu*** besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$Tu \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu \text{ min} = \phi 0,083.1. \sqrt{30} \left(\frac{292.500^2}{2.200} \right)$$

$$Tu \text{ min} = 13.259.557,87 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum ***Tu*** dapat diambil sebesar:

$$Tu \text{ max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$Tu \text{ max} = \phi 0,33.1. \sqrt{30} \left(\frac{292.500^2}{2.200} \right)$$

$$Tu \text{ max} = 52.718.724,07 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$T_u > T_u \text{ min}$

$$80.820.654 \text{ Nmm} > 13.259.557,87 \text{ Nmm}$$

(tulangan puntir diperhitungkan)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3 :**

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f'c'} b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2 \sqrt{f'c'}}{3} \right) \right)$$

$$2,89 \leq 4,56 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Maka penampang balok induk mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \times 198.849 \text{ mm}^2 \\ &= 169.021,65 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset}$$

$$\frac{At}{s} = \frac{107.760.872}{2 \times 169.021,65 \times 400 \times \cot 45^\circ}$$

$$\frac{At}{s} = 1,29 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$Al = \frac{At}{s} P_{oh} \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

$$Al = 1,29.1828. \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45^\circ$$

$$Al = 899 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{At}{s} \geq \frac{0,175 \times bw}{F_{yt}}$$

$$1,29 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 450}{400}$$

$$1,29 \text{ mm} \geq 0,197 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Maka nilai **At/s** diambil 1,29 mm

Periksa nilai Al_{min} dengan persamaan :

$$Al_{min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c} \times Acp}{F_y} \right) - \frac{At}{s} \times P_{oh} \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

$$Al_{min} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 292.500}{400} \right) - 1,29 \times 1.828 \times \frac{400}{400}$$

$$Al_{min} = -677,52 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

$Al \text{ perlu} \leq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ min}$

$Al \text{ perlu} \geq Al \text{ min}$, maka menggunakan $Al \text{ perlu}$

Maka :

$A_l \text{ perlu} > A_l \text{ min}$

$$899,39 \text{ mm}^2 > -677,52 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan A_l sebesar $899,39 \text{ mm}^2$

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{A_l}{4} = \frac{899,39}{4} = 224,85 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok

Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan puntir sebesar $224,85 \text{ mm}^2$.

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2x \frac{A_l}{4} = 449,7 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D19 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{A_s}{\frac{Luasan D \text{ puntir}}{449,7}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$n = 1,59 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D19**

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times A_{\text{tul. puntir}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{s \text{ pasang}} & \geq & A_{s \text{ perlu}} \\ 567,06 \text{ mm}^2 & \geq & 449,7 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **2D19**.

- **Perhitungan tulangan lentur**
DAERAH TUMPUAN KIRI

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d'$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 52,5$$

$$Xb = 358,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 268,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 130 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 130 \\ &= 1.267.987,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{1.267.987,5}{400} \\ A_{sc} &= 3.169,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 3.169,97 \times 400 \left(597,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 687.566.221,9 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 454.893.019 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{454.893.019}{0,9}$$

$$M_n = 505.436.687,8 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 505.436.687,8 - 687.566.221,9 \\ &= -182.129.534,1 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -182.129.534,1 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + F_y}$$

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{505.436.687,8}{450 \cdot 597,5^2} = 3,15$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 3,15}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0084$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$$0,0035 > 0,0084 < 0,0244$$

(OKE)

Luasan perlu (A_{sperlu}) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0084 \cdot 450 \cdot 597,5 \\ &= 2264,36 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= A_s + A_l/4 \\ &= 2264,36 + 224,85 \\ &= 2489,21 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{2489,21}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 5,07 \text{ pasang } 6 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **6D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &= n \times A_{tul \text{ tarik}} \\
 &= 6 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 2945,24 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &\geq A_{sperlu} \\
 2945,24 \text{ mm}^2 &\geq 2489,21 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 A_{s' \text{ perlu}} &= 0,3 A_{spasang} \\
 &= 0,3 \cdot 2945,24 \\
 &= 883,57 \text{ mm}^2 \\
 A_s
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{\text{Luasan } D \text{ lentur}}{883,57}$$

$$n = \frac{1}{\frac{4}{\pi} 25^2}$$

$$n = 1,8 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &= n \times A_{tul \text{ tekan}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 981,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &\geq A_{sperlu} \\
 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 883,57 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 6D25 dan tulangan tekan 1 lapis 2D25.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 25)}{6 - 1}$$

$$S_{maks} = 38,8 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 38,8 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 294 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 294 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk BI1 45/65 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **6D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 6 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\ &= 2945,24 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s'_{pasang} = n \text{ pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2$$

$$= 981,75 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 981,75 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 6D25 = 2945,24 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ pakai tulangan tekan } 2D25 = 981,75 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{2945 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 103 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f'c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \times 30 \times 103$$

$$Cc' = 1.178.097,2$$

$$T = As \text{ pakai } \times fy$$

$$T = 1.178.097,2$$

$$Mn \text{ pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 1.178.097,2 \left(597,5 - \frac{103}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 643.437.586,8 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka : } \phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$$

$$0,9 \times 643.437.586,8 \text{ Nmm} > 454.893.019 \text{ Nmm}$$

$$579.093.828,1 \text{ Nmm} > 454.893.019 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BI1 (45/65) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **6D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

DAERAH TUMPUAN KANAN

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d'$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 52,5$$

$$Xb = 358,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 268,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 130 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 130 \\ &= 1.267.987,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{1.267.987,5}{400} \\ Asc &= 3169,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 M_{nc} &= 3169,97 \times 400 \left(597,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 M_{nc} &= 687.566.221,9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 819.119.172 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u \times \phi}{0,9} \\
 M_n &= \frac{819.119.172}{0,9}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 910.132.413,3 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 910.132.413,3 - 687.566.221,9 \\
 &= 222.566.191,5 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = 222.566.191,5 \text{ Nmm} > 0$ (perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur rangkap.

Perencanaan tulangan lentur rangkap

$$\begin{aligned}
 C_{s'} &= T_2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')} \\
 C_{s'} &= T_2 = \frac{222.566.191,5}{(597,5 - 52,5)} \\
 C_{s'} &= T_2 = 408.378,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kontrol tulangan tekan

$$f_s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600$$

$$f_s' = \left(1 - \frac{52,5}{130}\right) 600$$

$$f_s' = 357,7 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$F_s' < F_y$$

$$357,7 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \quad \textbf{(TIDAK LELEH)}$$

Sehingga tulangan tekan dianggap tidak leleh untuk nilai

$$f_s' = f_s'$$

Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

Tulangan tekan perlu (A_s')

$$A_s' = \frac{C_s'}{(f_s' - 0,85 \cdot f_c')}$$

$$A_s' = \frac{408.378,33}{(357,7 - 0,85 \cdot 30)}$$

$$A_s' = 1229,34 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik tambahan (A_{ss})

$$A_{ss} = \frac{T_2}{F_y}$$

$$A_{ss} = \frac{408.378,33}{400}$$

$$A_{ss} = 1020,95 \text{ mm}^2$$

Sehingga tulangan tarik perlu:

$$A_s = A_{sc} + A_{ss}$$

$$= 3169,97 + 1020,95$$

$$= 4190,92 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\
 &= 4190,92 + 224,85 \\
 &= 4415,76 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan tekan perlu:

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= A_{s'} \\
 &= 1229,34 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned}
 A_{s'_{\text{perlu}}} &= A_{s'} + A_l/4 \\
 &= 1229,34 + 224,85 \\
 &= 1454,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan:

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$819.119.172 \text{ Nmm} \geq 819.119.172 \text{ Nmm (OK)}$$

Digunakan tulangan **D25** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{4415,76}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 8,9 \text{ pasang } 9 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **9D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pasang}}} &= n \times A_{S_{\text{tul tarik}}} \\
 &= 9 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 4417,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{S_{\text{pasang}}} &\geq A_{S_{\text{perlu}}} \\
 4417,87 \text{ mm}^2 &\geq 4415,76 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{s'_{\text{perlu}}} = 1454,19 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As'_{perlu}}{Luasan D \text{ puntir}}$$

$$n = 1454,19$$

$$n = 2,96 \text{ pasang } 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **3D25**

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul \text{ tekan}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &\geq A_{Sperlu} \\ 1472,62 \text{ mm}^2 &\geq 1454,19 \text{ mm}^2 \quad \textbf{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik

Direncanakan tulangan disusun 2 lapis :

Lapis 1 : **5D25**

Lapis 2 : **4D25**

Kontrol lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{maks} = 54,75 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{aligned} S_{maks} &\geq S_{sejajar} \\ 54,75 \text{ mm} &\geq 30 \text{ mm} \end{aligned}$$

(memenuhi)

Kontrol lapis 2

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 25)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 81,3 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{lcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 81,3 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(memenuhi)}$$

kontrol tulangan tekan

Direncanakan tulangan disusun 1 lapis :

Lapis 1 : **3D25**

Kontrol lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 134,50 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{lcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 134,50 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk 45/65 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **5D25**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **4D25**

Tulangan lentur tekan lapis 1 = **3D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned}
 A_{s_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 9 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\
 &= 4417,87 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s'_{\text{pasang}}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\
 &= 1472,62 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 4417,87 \text{ mm}^2$$

$$1472,62 \text{ mm}^2 \geq 1472,62 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tarik } \mathbf{9D25} = 4417,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\text{pasang}}} \text{ tulangan tekan } \mathbf{3D25} = 1472,62 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_{s'} \cdot f_{s'})}{0,85 \cdot f_{c'} \cdot b}$$

$$a = 102,67 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_{c'} \times a$$

$$Cc' = 1.178.097,25 \text{ N}$$

$$Cs' = A_{s'} \times f_{s'}$$

$$Cs' = 1472,62 \times 357,7$$

$$Cs' = 526.745,4 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d'))$$

$$Mn = 930.513.831,3 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\Theta M_{n_{\text{pasang}}} > M_u$$

$$837.462.448,2 \text{ Nmm} > 819.119.172 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BI1 (45/65) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **5D25**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **4D25**

Tulangan lentur tekan lapis 1 = **3D25**

DAERAH LAPANGAN

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d'$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 52,5$$

$$Xb = 358,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 268,87 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 130 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 130 \\ &= 1.267.987,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{1.267.987,5}{400} \\ Asc &= 3169,97 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 3169,97 \times 400 \left(597,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 687.566.221,9 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_u = 283.847.780 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_{ux}}{\phi}$$

$$M_n = \frac{283.847.780}{0,9}$$

$$M_n = 315.386.422,2 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_n > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 315.386.422,22 - 687.566.221,9 \\ &= -372.179.799,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -372.179.799,7 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_{c'}} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_{c'} \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + F_y}$$

$$\rho b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{315.386.422,2}{450 \cdot 597,5^2} = 1,96$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,96}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0051$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0051 < 0,0244$$

(OKE)

Luasan perlu (A_{Sperlu}) tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} A_{Sperlu} &= \rho_{perlu} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0051 \cdot 450 \cdot 597,5 \\ &= 1374,74 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{Sperlu} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1374,74 + 224,85 \\ &= 1599,59 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{1599,59}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 3,26 \text{ pasang } 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **4D25**.

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &= n \times A_{Stul \text{ tarik}} \\
 &= 4 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 1963,49 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &\geq A_{Sperlu} \\
 1963,49 \text{ mm}^2 &\geq 1599,59 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 A_{s' \text{ perlu}} &= 0,3 A_{Spasang} \\
 &= 0,3 \cdot 1963 \\
 &= 589,05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{589,05}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 1,2 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &= n \times A_{Stul \text{ tekan}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\
 &= 981,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{Spasang} &\geq A_{Sperlu} \\
 981,75 \text{ mm}^2 &\geq 589,05 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 4D25 dan tulangan tekan 1 lapis 2D25.

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 25)}{4 - 1}$$

$$S_{maks} = 81,3 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 81,3 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 294 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 294 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B11 45/65 untuk daerah tumpuan lapangan:

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **4D25**

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\ &= 1963,49 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{s' \text{ pasang}} = n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2$$

$$= 981,75 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1963,49 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 981,75 \text{ mm}^2$$

$$1963,49 \text{ mm}^2 \geq 327,25 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$\text{As pakai tulangan tarik 4D25} = 1963,49 \text{ mm}^2$$

$$\text{As pakai tulangan tekan 2D25} = 981,75 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1963,49 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 68,4 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \times 30 \times 68,4$$

$$Cc' = 785.398,16$$

$$T = \text{As pakai} \times f_y$$

$$T = 785.398,16$$

$$Mn \text{ pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 785.398,16 \left(597,5 - \frac{68,4}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 442.397.395 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka : } \phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$$

$$0,9 \times 442.397.395 \text{ Nmm} > 283.847.780 \text{ Nmm}$$

$$398.157.655,5 \text{ Nmm} > 283.847.780 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BI1 (45/65) untuk daerah lapangan:

$$\text{Tulangan lentur tarik 1 lapis} = \mathbf{4D25}$$

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

- **Perhitungan tulangan geser**

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi envelope.

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 6D25 = 2945,24 mm²

As' pakai tulangan tekan 2D25 = 981,7 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{2945,24 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 102,67 \text{ mm}$$

$$Mnl = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnl = 2945,24 \cdot 400 \left(597,5 - \frac{102,67}{2} \right)$$

$$Mnl = 643.437.587 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

$$As \text{ pakai tulangan tarik } 9D25 = 4417,86 \text{ mm}^2$$

$$As' \text{ pakai tulangan tekan } 3D25 = 1472,62 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{4417,86 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 153 \text{ mm}$$

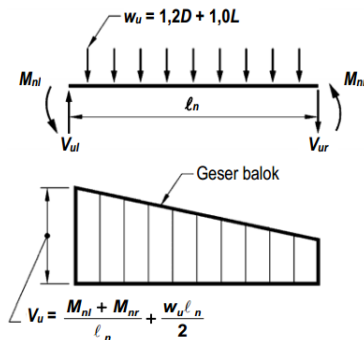
$$Mnr = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = 4417,86 \cdot 400 \left(597,5 - \frac{153}{2} \right)$$

$$Mnr = 919.799.742 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.28 Geser Desain untuk Balok

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

$$Vu = 506.380,41 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 L_n &= L_{\text{balok}} - 2(0,5 \cdot b_{\text{kolom}}) \\
 &= 10000 - 2(0,5 \cdot 650) \\
 &= 9350 \text{ mm} \\
 V_{u1} &= \frac{643.437.587 + 919.799.742}{9350} + 506.380,41 \\
 V_{u1} &= 673.571,57 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa
(SNI 03-2847-2013)

$$\begin{aligned}
 \sqrt{f_c'} &< \frac{25}{3} \\
 \sqrt{30} &< \frac{25}{3} \\
 5,477 &< 8,33 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 V_c &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 450 \times 597,5 \\
 V_c &= 250.357,13 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned}
 V_{smin} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\
 V_{smin} &= \frac{1}{3} \times 450 \times 597,5 \\
 V_{smin} &= 89.625 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{smax} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\
 V_{smax} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 450 \times 597,5 \\
 V_{smax} &= 490.896,34 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$2 \cdot V_{smax} = 981.792,68 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 673.571,57 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$
 $673.571,57 \text{ N} > 93.883,93 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
2. kondisi 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi \cdot V_c$
 $93.883,93 \text{ N} \leq 673.571,57 \text{ N} > 187.767,85 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
3. kondisi 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $187.767,85 \text{ N} \leq 673.571,57 \text{ N} > 254.986,6 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
4. kondisi 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\phi (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\max}})$
 $254.986,6 \text{ N} \leq 673.571,57 \text{ N} > 555.940,11 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
5. kondisi 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser

$$\phi(V_c + V_{s_{\max}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2.V_{s_{\max}})$$

$$555.940,11 \text{ N} \leq 673.571,57 \text{ N} \leq 924.112,36 \text{ N}$$

(memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 5, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{V_{u1}}{\phi} - V_c$$

$$V_{sperlu} = \frac{673.571,57}{0,75} - 250.357,13$$

$$V_{sperlu} = 647.738,29 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 3 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} x \pi x d^2 x n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} x \pi x 13^2 x 3$$

$$A_v = 398 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v x f_y x d}{V_s}$$

$$s = \frac{398 x 320 x 597,5}{647.738,29}$$

$$s = 147 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 597,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 149,38 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-50 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{V_{perlu} \times s}{f_y \times d}$$

$$A_v = \frac{647.738,29 \times 50}{320 \times 597,5}$$

$$A_v = 169,39 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{A_t}{s} = 1,36$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_t &= 1,29 \text{ mm} \times s \\ &= 1,29 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \\ &= 64,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan:

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 169,39 \text{ mm}^2 + 2(67,9 \text{ mm}^2) \\ &= 298,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 50}{320}$$

$$A_v + 2A_t = 23,88 \text{ mm}^2$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{450 \times 50}{320}$$

$$A_v + 2A_t = 24,6 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2A_t = 298,47 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{lll} A_{v\text{pakai}} & > & A_{v\text{perlu}} \\ 398 \text{ mm} & > & 298,47 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/4$
 $50 \text{ mm} < 597,5 \text{ mm}/4$
 $50 \text{ mm} < 149,38 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $50 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $50 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan sengkang D13-50 mm pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5 \ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5 \ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln}$$

$$Vu2 = \frac{673.571,57 \times (0,5 \cdot 9350 - 2.650)}{0,5 \cdot 9350}$$

$$Vu2 = 486.268,24 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser
 $Vu \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc$
 $486.268,24 \text{ N} > 93.883,93 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
2. kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc \leq Vu \leq \phi Vc$
 $93.883,93 \text{ N} \leq 486.268,24 \text{ N} > 187.767,85 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
3. kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi Vc \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs_{min})$
 $187.767,85 \leq 486.268,24 \text{ N} > 254.986,6 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
4. kondisi 4 → memerlukan tulangan geser
 $\phi (Vc + Vs_{min}) \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs_{max})$
 $254.986,6 \text{ N} \leq 486.268,24 \text{ N} \leq 555.940,1 \text{ N}$
(memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok induk menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{sperlu} = \frac{486.268,24}{0,75} - 250.357,13$$

$$V_{sperlu} = 398.000,53 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 3 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$A_v = 398 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{398 \times 320 \times 597,5}{398.000,53}$$

$$s = 239 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 597,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 149,38 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-80 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{V_{sperlu} \times s}{f_y \times d}$$

$$A_v = \frac{398.000,53 \times 80}{320 \times 597,5}$$

$$A_v = 167 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 1,29$$

Maka,

$$\begin{aligned} At &= 1,29 \text{ mm} \times s \\ &= 1,29 \text{ mm} \times 80 \text{ mm} \\ &= 103 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 167 \text{ mm}^2 + 2(103 \text{ mm}^2) \\ &= 373 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y} \\ Av + 2At &= 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 80}{320} \\ Av + 2At &= 38,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,35 \frac{b \times s}{f_y} \\ Av + 2At &= 0,35 \frac{450 \times 80}{320} \\ Av + 2At &= 39,38 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$Av + 2At = 373 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{lll} Av_{\text{pakai}} & > & Av_{\text{perlu}} \\ 398 \text{ mm} & > & 373 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/2$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{pakai} < d/2$
 $80 \text{ mm} < 597,5 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 298,75 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $80 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $80 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $80 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan sengkang D13-80 mm pada daerah lapangan.

- Perhitungan panjang penyaluran

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D25 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

- 1) panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$l_d = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) 25$$

$$l_d = 1073,97 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$1073,97 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{pasang}}} l_d$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{4415,76}{4417,86} 1073,97$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = 1073,45 \text{ mm} \approx 1100 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400}{1 \sqrt{30}} 25$$

$$l_{dc} = 438 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot F_y \cdot d_b$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot 400 \cdot 25$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 438 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{A_{\text{perlu}}}{A_{\text{pasang}}} l_{dc}$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = \frac{1454,19}{1472,62} 438$$

$$l_{d_{\text{reduksi}}} = 433 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

- 3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot f_y \Psi_e}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{30}} \right) 25 \geq 8 \times 25 \text{ mm dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 438 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

$$l_{dh} = 438 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

- 4) Panjang kait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = 12d_b$$

$$l_{dh} = 12 \times 25 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 300 \text{ mm}$$

4.4.3.2 Balok Anak

Perhitungan balok anak diambil dari data balok anak BA1. Berikut adalah data perencanaan balok anak, gambar pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	= BA1
Bentang balok	= 10000 mm
Dimensi balok (b)	= 350 mm
Dimensi balok (h)	= 500 mm
Kuat tekan beton (fc')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (fy)	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (fyv)	= 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (fyt)	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	= 25 mm
Diameter tulangan geser (Ø)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	= 19 mm
Spasi antar tulangan sejajar	= 30 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)

- Tebal selimut beton = 40 mm
 (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c))
- Faktor β_1 = 0,85
 (SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) = 0,9
 (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) = 0,75
 (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
- Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ) = 0,75
 (SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

➤ Perhitungan penulangan balok :

- Tinggi efektif balok:

$$d = h - t_{\text{decking}} - \phi_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2}\phi_{\text{tulangan lentur}}$$

$$d = 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 125$$

$$d = 447,5 \text{ mm}$$

- Hasil output SAP 2000:

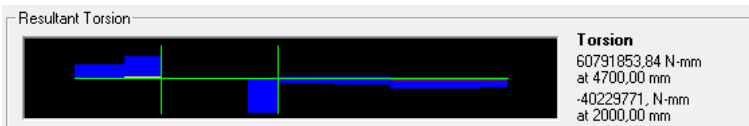
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa.

Hasil output torsi

Kombinasi : envelope

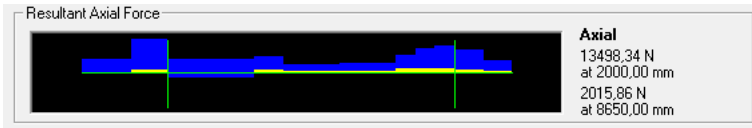
Momen puntir : 60.791.853,84 Nmm



Gambar 4.29 Momen Torsi Balok BA1

Hasil output aksial

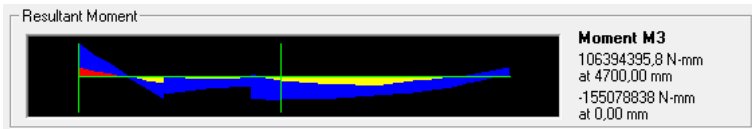
Kombinasi : envelope
 Gaya aksial : 13.498,34 N



Gambar 4.30 Gaya Aksial Balok BA1

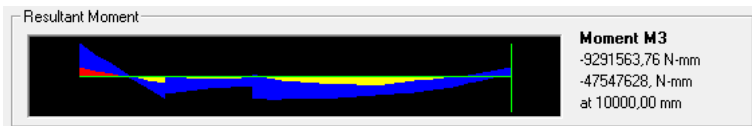
Hasil output momen lentur

Kombinasi : envelope
 Momen lentur lapangan : 106.394.395,8 Nmm



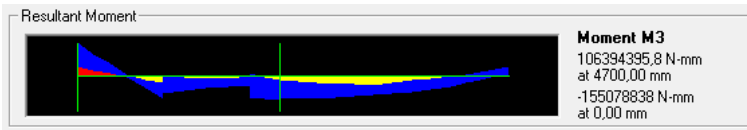
Gambar 4.31 Momen Kiri dan Lapangan Balok BA1

Kombinasi : envelope
 Momen lentur tumpuan kanan : 47.547.628 Nmm



Gambar 4.32 Momen Kanan Balok BA1

Kombinasi : envelope
 Momen lentur tumpuan kiri : 155.078.838 Nmm

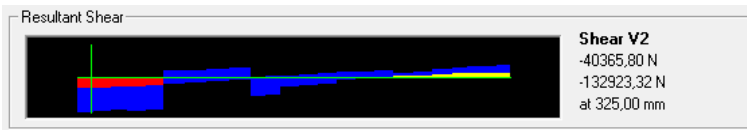


Gambar 4.33 Momen Kiri dan Lapangan Balok BA1

Hasil output gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Kombinasi : envelope
Gaya geser : 132.923,32 N



Gambar 4.34 Gaya Geser

- Syarat gaya aksial balok :
Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **P_u** , untuk komponen struktur tidak melebihi **$A_g \cdot f_c' / 10$** dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{A_g F_c'}{10} = \frac{350mm \times 500mm \times 30MPa}{10}$$

$$\frac{A_g F_c'}{10} = 525.000 N$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi envelope

Maka sesuai persamaan :

$$P_u < \frac{A_g F_c'}{10}$$

$$13.498,34 \text{ N} < 525.000 \text{ N} \quad (\text{Memenuhi})$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 350 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}$$

$$A_{cp} = 175.000 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 \text{ mm} + 500 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 1700 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 106.600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.340 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan puntir**

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi envelope.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 60.791.853,84 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{60.791.853,84}{0,75} = 81.055.805,12 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor ***Tu*** besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$T_u \text{ min} = \phi 0,083.1. \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 6.142.245,33 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum *Tu* dapat diambil sebesar:

$$T_u \text{ max} = \phi 0,33 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{Acp^2}{Pcp} \right)$$

$$T_u \text{ max} = \phi 0,33.1. \sqrt{30} \left(\frac{175.000^2}{1.700} \right)$$

$$T_u \text{ max} = 24.420.975,43 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_u \text{ min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_u \text{ min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$T_u > T_u \text{ min}$

$$60.791.853,84 \text{ Nmm} > 6.142.245,34 \text{ Nmm}$$

(tulangan puntir diperhitungkan)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3** :

$$\sqrt{\left(\frac{Vu}{b \times d}\right)^2 + \left(\frac{Tu \cdot Ph}{1,7 \times A_o h^2}\right)^2} \leq \varphi \left(\frac{1}{6} \frac{\sqrt{f'c'} b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2\sqrt{f'c'}}{3} \right) \right)$$

$$4,3 \leq 4,56 \quad \text{(memenuhi)}$$

Maka penampang balok anak mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \emptyset$$

Untuk beton non prategang $\emptyset = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 106.600 \text{ mm}^2 \\ &= 90.610 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \emptyset} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{81.055.805,12}{2 \times 90.610 \times 400 \times \cot 45^\circ} \\ \frac{A_t}{s} &= 1,81 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \emptyset \\ A_l &= 1,81 \times 1340 \times \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45^\circ \end{aligned}$$

$$A_l = 925 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\frac{A_t}{s} \geq \frac{0,175 \times b_w}{F_{yt}}$$

$$1,81 \text{ mm} \geq \frac{0,175 \times 350}{400}$$

$$1,81 \text{ mm} \geq 0,15 \text{ mm} \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Maka nilai A_t/s diambil 1,81 mm

Periksa nilai $A_{l_{min}}$ dengan persamaan :

$$A_{l_{min}} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c} \times A_{cp}}{F_y} \right) - \frac{A_t}{s} \times P_{oh} \times \frac{F_{yt}}{F_y}$$

$$A_{l_{min}} = \left(\frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 175.000}{400} \right) - 1,81 \times 1.340 \times \frac{400}{400}$$

$$A_{l_{min}} = -1420,6 \text{ mm}^2$$

Periksa penggunaan A_l dengan 2 kondisi sebagai berikut.

$A_l \text{ perlu} \leq A_l \text{ min}$, maka menggunakan $A_l \text{ min}$

$A_l \text{ perlu} \geq A_l \text{ min}$, maka menggunakan $A_l \text{ perlu}$

Maka :

$A_l \text{ perlu} < A_l \text{ min}$

$$925 \text{ mm}^2 > -1420,6 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan A_l sebesar 925 mm²

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{A_l}{4} = \frac{925}{4} = 231,26 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok

Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan puntir sebesar 231,26 mm².

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2x \frac{Al}{4} = 462,53 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D19 mm pada tulagan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{462,53}{\frac{1}{4} \pi 19^2}$$

$$n = 1,6 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D19**

$$\begin{aligned} AS_{\text{pasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 567 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} AS_{\text{pasang}} & \geq & AS_{\text{perlu}} \\ 567 \text{ mm}^2 & \geq & 462,53 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{array}$$

Sehingga dipasang tulanga puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **2D19**.

- **Perhitungan tulangan lentur** **DAERAH TUMPUAN KIRI**

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) x d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) x 447,5$$

$$Xb = 268,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times X_b \\ &= 201,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 120 \\ &= 910.350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ Asc &= \frac{910.350}{400} \\ Asc &= 2.275,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\ Mnc &= 2.275,88 \times 400 \left(447,5 - \frac{0,85 \times 120}{2} \right) \\ Mnc &= 360.953.775 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} Mu &= 155.078.838 \text{ Nmm} \\ Mn &= \frac{Mux}{\phi} \end{aligned}$$

$$Mn = \frac{155.078.838}{0,9}$$

$$Mn = 172.309.820 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 172.309.820 - 360.953.775 \\ &= -188.643.955 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -188.643.955 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + Fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{172.309.820}{350 \cdot 447,5^2} = 2,46$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.15,69.2,46}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0065$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0065 < 0,02 \quad (\text{OKE})$$

Luasan perlu ($A_{s\text{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0065 \cdot 350 \cdot 447,5 \\ &= 1014,13 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1014,13 + 231,26 \\ &= 1245,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{1245,39}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 2,54 \text{ pasang } 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D25**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &\geq A_{s\text{perlu}} \\ 1472,62 \text{ mm}^2 &\geq 1245,39 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ perlu}} &= 0,3 A_{s\text{pasang}} \\ &= 0,3 \cdot 1472,62 \end{aligned}$$

$$= 441,79 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{441,79}{\frac{1}{4} \pi 25}$$

$n = 0,9$ pasang 2 buah

Dipasang tulangan tekan **2D25**

$$As_{\text{pasang}} = n \times As_{\text{tul tekan}}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2$$

$$= 981,75 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$As_{\text{pasang}} \geq As_{\text{perlu}}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 441,79 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D25 dan tulangan tekan 1 lapis 2D25.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 25)}{3 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 87,5 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$87,5 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 200 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk BA1 35/50 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1472,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ pasang}} &= n \text{ pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan } (+) \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan } (-)$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1472,62 \text{ mm}^2$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 491 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 3D25 = 1472,62 \text{ mm}^2$$

As pakai tulangan tekan 2D25 = 981,75 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } x Fy}{0,85 x f_c' x b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1472,62 x 400}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 66 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 x b x f_c' x a$$

$$Cc' = 0,85 x 350 x 30 x 66$$

$$Cc' = 589.048,62 \text{ N}$$

$$T = As \text{ pakai } x f_y$$

$$T = 589.048,62 \text{ N}$$

$$Mn \text{ pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 589.048,62 \text{ N} \left(447,5 - \frac{66}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 244.160.699,5 \text{ Nmm}$$

Maka : $\phi Mn_{pasang} > Mu$

$$0,9 x 244.160.699,5 \text{ Nmm} > 155.078.838 \text{ Nmm}$$

$$219.744.629,6 \text{ Nmm} > 155.078.838 \text{ Nmm} \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BA1 (35/50) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

- Perhitungan tulangan lentur **DAERAH TUMPUAN KANAN**

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) x d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) x 447,5$$

$$Xb = 268,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 201,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 120 \\ &= 910.350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ Asc &= \frac{910.350}{400} \\ Asc &= 2275,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\ Mnc &= 2275,88 \times 400 \left(447,5 - \frac{0,85 \times 120}{2} \right) \\ Mnc &= 360.953.775 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 47.547.628 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mux}{\phi}$$

$$Mn = \frac{47.547.628}{0,9}$$

$$Mn = 52.830.697,78 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$Mns = Mn - Mnc$$

$$= 52.830.697,78 - 360.953.775$$

$$= -301.123.077,2 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -301.123.077,2 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{Fy}{0,85 f'c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{fy} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f'c' \beta}{fy} \times \frac{600}{600 + Fy}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{52.830.697,78}{350 \cdot 447,5^2} = 0,75$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 0,75}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,00191$$

Syarat : $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$0,0035 > 0,00191 < 0,02$ **(TIDAK OKE)**

Maka perlu diperbesar 30%, $\rho = 0,0025$

Sehingga menggunakan ρ_{\min}

Luasan perlu ($A_{s\text{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho_{\min} \cdot b \cdot d \\ &= 0,0035 \cdot 350 \cdot 447,5 \\ &= 548,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 548,19 + 231,26 \\ &= 779,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}} \\ n &= \frac{779,45}{\frac{1}{4} \pi 25^2} \end{aligned}$$

$n = 1,59$ pasang 2 buah

Dipasang tulangan tarik **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul tarik}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spasang}} & \geq & A_{\text{Sperlu}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 & \geq & 779,45 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{\text{S'perlu}} &= 0,3 A_{\text{Spasang}} \\ &= 0,3 \cdot 981,75 \\ &= 295 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s}{\frac{\text{Luasan } D \text{ lentur}}{295}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spasang}} &= n \times A_{\text{Stul tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spasang}} & \geq & A_{\text{Sperlu}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 & \geq & 295 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 2D25 dan tulangan tekan 1 lapis 2D25.

Kontrol tulangan tarik:

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ S_{\text{maks}} &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$200 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$200 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk BA1 35/50 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S'_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan } (+)} \geq \frac{1}{3} M_{lentur \text{ tumpuan } (-)}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 981,75 \text{ mm}^2$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 327 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik 2D25 = 981,75 mm²

As pakai tulangan tekan 2D25 = 981,75 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{981,75 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 44 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 350 \times 30 \times 44$$

$$Cc' = 392.699,08 \text{ N}$$

$$T = As \text{ pakai } \times f_y$$

$$T = 392.699,08 \text{ N}$$

$$Mn \text{ pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 392.699,08 \text{ N} \left(447,5 - \frac{44}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 167.093.479,5 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka : } \phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$$

$$0,9 \times 167.093.479,5 \text{ Nmm} > 47.547.628 \text{ Nmm}$$

$$150.384.131,5 \text{ Nmm} > 155.078.838 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BA1 (35/50) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

- **Perhitungan tulangan lentur**
DAERAH LAPANGAN

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 447,5$$

$$Xb = 268,5 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 201,38 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 120 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 350 \cdot 0,85 \cdot 120 \\ &= 910.350 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\ &= \frac{910.350}{400} \\ Asc &= 2275,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 2275,88 \times 400 \left(447,5 - \frac{0,85 \times 120}{2} \right)$$

$$M_{nc} = 360.953.775 \text{ Nmm}$$

Momen lentur nominal (M_n)

$$M_u = 106.394.395,8 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi}$$

$$M_n = \frac{106.394.395,8}{0,9}$$

$$M_n = 118.215.995,3 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 118.215.995,3 - 360.953.775 \\ &= -242.737.779,7 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -242.737.779,7 \text{ Nmm} < 0$ (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + F_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{118.215.995,3}{350.447,5^2} = 1,69$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 1,69}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0043$$

$$\text{Syarat : } \rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0035 < 0,0043 < 0,02 \quad \textbf{(OKE)}$$

Luasan perlu ($A_{s_{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0043 \cdot 350 \cdot 447,5 \\ &= 683,84 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 683,84 + 231,26 \\ &= 915,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{915,11}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 1,86 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **2D25**.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n \times A_{s_{tul \text{ tarik}}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spasang}} & \geq & A_{\text{Sperlu}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 & \geq & 915,11 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned} A_{\text{S'perlu}} &= 0,3 A_{\text{Spasang}} \\ &= 0,3 \cdot 981,75 \\ &= 295 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_s}{\frac{Luasan D \text{ lentur}}{295}}$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi 25^2}$$

$$n = 0,6 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tekan **2D25**

$$\begin{aligned} A_{\text{Spasang}} &= n \times A_{\text{Stul tekan}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 25^2 \\ &= 981,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{\text{Spasang}} & \geq & A_{\text{Sperlu}} \\ 981,75 \text{ mm}^2 & \geq & 295 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 2D25 dan tulangan tekan 1 lapis 2D25.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}}$$

$$200 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{\frac{n-1}{2}}$$

$$S_{maks} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 25)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 200 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$200 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk BA1 35/50 untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2$$

$$= 981,75 \text{ mm}^2$$

$$A_{s'_{pasang}} = n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \pi 25^2$$

$$= 981,75 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 981,75 \text{ mm}^2$$

$$981,75 \text{ mm}^2 \geq 327 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik 2D25 = 981,75 mm²

As pakai tulangan tekan 2D25 = 981,75 mm²

$$a = \left(\frac{\text{As pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{981,75 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 44 \text{ mm}$$

$$C c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$C c' = 0,85 \times 350 \times 30 \times 44$$

$$C c' = 392.699,08 \text{ N}$$

$$T = \text{As pakai} \times f_y$$

$$T = 392.699,08 \text{ N}$$

$$Mn \text{ pasang} = C c' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 392.699,08 \text{ N} \left(447,5 - \frac{44}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 167.093.479,5 \text{ Nmm}$$

$$\text{Maka : } \phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$$

$$0,9 \times 167.093.479,5 \text{ Nmm} > 106.394.395,8 \text{ Nmm}$$

$$150.384.131,5 \text{ Nmm} > 106.394.395,8 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BA1 (35/50) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **2D25**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D25**

- **Perhitungan tulangan geser**

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi envelope.

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 3D25 = 1472,62 mm²

As' pakai tulangan tekan 2D25 = 981,75 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1472,62 \times 400}{0,85 \times 30 \times 350} \right)$$

$$a = 65 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 1472,62 \cdot 400 \left(447,5 - \frac{65}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 244.160.700 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 2D25 = 981,75 mm²

As' pakai tulangan tekan 2D25 = 981,75 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } x Fy}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$a = \left(\frac{851 x 400}{0,85 x 30 x 350} \right)$$

$$a = 43 \text{ mm}$$

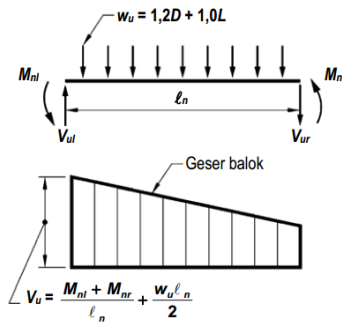
$$Mnr = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = 981,75 \cdot 400 \left(440,5 - \frac{43}{2} \right)$$

$$Mnr = 167.093.479 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.35 Desain Geser Balok

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

$$Vu = 132.923,32 \text{ N}$$

$$Ln = L_{balok} - 2(0,5 \cdot b_{kolom})$$

$$= 10000 - 2(0,5 \cdot 650)$$

$$= 9350 \text{ mm}$$

$$Vu1 = \frac{244.160.700 + 167.093.479}{9350} + 132.923,32$$

$$Vu1 = 176.907,72 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

$$Vc = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$Vc = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 350 \times 447,5$$

$$Vc = 145.837,98 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$Vsmin = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$Vsmin = \frac{1}{3} \times 350 \times 447,5$$

$$Vsmin = 52.208,33 \text{ N}$$

$$Vsmax = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$Vsmax = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 350 \times 447,5$$

$$Vsmax = 285.956,82 \text{ N}$$

$$2. Vsmax = 571.913,64 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 176.907,72 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$
 $176.907,72 \text{ N} > 54.689,24 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
2. kondisi 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi V_c$
 $54.689,24 \text{ N} \leq 176.907,72 \text{ N} \leq 109.378,48 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
3. kondisi 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\min}})$
 $109.378,48 \text{ N} \leq 176.907,72 \text{ N} > 148.534,73 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
4. kondisi 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\phi(V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{s_{\max}})$
 $148.534,73 \text{ N} \leq 176.907,72 \text{ N} \leq 323.846,1 \text{ N}$ (**memenuhi**)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{Vu1}{\phi} - V_c$$

$$V_{sperlu} = \frac{176.907,72}{0,75} - 132.923,32$$

$$V_{sperlu} = 90.038,99 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 3 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$A_v = 398 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{398 \times 320 \times 447,5}{647.738,29}$$

$$s = 147 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 597,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 149,38 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-50 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{V_{sperlu} \times s}{f_y \times d}$$

$$A_v = \frac{647.738,29 \times 50}{320 \times 597,5}$$

$$A_v = 31,4 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 1,81$$

Maka,

$$\begin{aligned} At &= 1,81 \text{ mm} \times s \\ &= 1,81 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \\ &= 90,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 31,4 \text{ mm}^2 + 2(90,6 \text{ mm}^2) \\ &= 213 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y} \\ Av + 2At &= 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 50}{320} \\ Av + 2At &= 23,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Av + 2At &= 0,35 \frac{b \times s}{f_y} \\ Av + 2At &= 0,35 \frac{450 \times 50}{320} \\ Av + 2At &= 24,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$Av + 2At = 213 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{lll} Av_{\text{pakai}} & > & Av_{\text{perlu}} \\ 398 \text{ mm} & > & 213 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(OK)}$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{pakai} < d/4$
 $50 \text{ mm} < 447,5 \text{ mm}/4$
 $50 \text{ mm} < 111,88 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $50 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $50 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan sengkang D13-50 mm pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5 l_n - 2h} = \frac{Vu1}{0,5 l_n}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5 l_n - 2h)}{0,5 l_n}$$

$$Vu2 = \frac{176.907,72 \times (0,5 \cdot 9350 - 2.500)}{0,5 \cdot 9350}$$

$$Vu2 = 139.066,5 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser
 $Vu \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc$
 $139.066,5 \text{ N} > 54.689,24 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
2. kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc \leq Vu \leq \phi Vc$
 $54.689,24 \text{ N} \leq 139.066,5 \text{ N} \leq 109.378,48 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
3. kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi Vc \leq Vu \leq \phi (Vc + Vs_{min})$
 $109.378,48 \text{ N} \leq 139.066,5 \text{ N} < 148.534,73 \text{ N}$ **(memenuhi)**

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 3, yaitu memerlukan tulangan geser minimum.

$$Vs_{perlu} = Vs_{min}$$

$$Vs_{perlu} = 52208,33 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 3 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 3$$

$$Av = 398 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{Av \times fy \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{398 \times 320 \times 447,5}{52.208,33}$$

$$s = 1365 \text{ mm}$$

Dipakai $S = 90 \text{ mm}$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 597,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 149,38 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-90 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{Vsperlu \times s}{fy \times d}$$

$$Av = \frac{52.208,33 \times 90}{320 \times 597,5}$$

$$Av = 32,8 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 1,81$$

Maka,

$$At = 1,81 \text{ mm} \times s$$

$$= 1,81 \text{ mm} \times 90 \text{ mm}$$

$$= 163 \text{ mm}^2$$

Luas gabungan:

$$Av + 2At = 32,8 \text{ mm}^2 + 2(163 \text{ mm}^2)$$

$$= 359 \text{ mm}^2$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 90}{320}$$

$$A_v + 2A_t = 42,98 \text{ mm}^2$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{b \times s}{f_y}$$

$$A_v + 2A_t = 0,35 \frac{450 \times 90}{320}$$

$$A_v + 2A_t = 44,29 \text{ mm}^2$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2A_t = 359 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{lll} A_{v_{\text{pakai}}} & > & A_{v_{\text{perlu}}} \\ 398 \text{ mm} & > & 359 \text{ mm} \end{array} \quad \textbf{(OK)}$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi

- a) $d/2$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/2$
 $150 \text{ mm} < 223,75 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $150 \text{ mm} < 8 \times 25 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$
- c. $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $150 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$

d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan sengkang D13-90 mm pada daerah lapangan balok.

- **Perhitungan panjang penyaluran**

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D19 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1) panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$l_d = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$l_d = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) 25$$

$$l_d = 1073,97 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$1073,97 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_d$$

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{1245,39}{1472,62} 1073,97$$

$$l_{d_{reduksi}} = 908,25 \text{ mm} \approx 1000 \text{ mm}$$

2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24Fy}{\lambda\sqrt{fc'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24.400}{1\sqrt{30}} 25$$

$$l_{dc} = 438 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043.Fy.d_b$$

$$l_{dc} = 0,043.400.25$$

$$l_{dc} = 430 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 438 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$ld_{reduksi} = \frac{Asperlu}{Aspasang} l_{dc}$$

$$ld_{reduksi} = \frac{441,79}{981,75} 438$$

$$ld_{reduksi} = 197 \text{ mm} \approx 400 \text{ mm}$$

- 3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24.fy\Psi_e}{\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24.400.1}{1.\sqrt{30}} \right) 25 \geq 8 \times 25 \text{ mm dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 438 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

$$l_{dh} = 438 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

- 4) Panjang kait dalam kondisi tarik

$$ld_h = 12d_b$$

$$ld_h = 12 \times 25 \text{ mm}$$

$$ld_h = 300 \text{ mm}$$

4.4.3.3 Balok Sloof

Perhitungan balok sloof diambil dari data BS. Berikut adalah data perencanaan balok sloof, gambar pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yang selanjutnya akan dihitung menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe balok	= BS
Bentang balok	= 10000 mm
Dimensi balok (b)	= 450 mm
Dimensi balok (h)	= 650 mm
Kuat tekan beton (f_c')	= 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	= 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	= 320 MPa
Kuat leleh tulangan puntir (f_{yt})	= 400 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	= 29 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	= 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	= 22 mm
Spasi antar tulangan sejajar	= 30 mm
	(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)
Tebal selimut beton	= 40 mm
	(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1(c))
Faktor β_1	= 0,85
	(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.3)
Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ)	= 0,9
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.1)
Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ)	= 0,75
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)
Faktor reduksi kekuatan torsi (ϕ)	= 0,75
	(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.3)

➤ Gambar denah perencanaan:

➤ Perhitungan penulangan balok :

- Tinggi efektif balok:

$$d = h - t_{\text{decking}} - \emptyset_{\text{tulangan geser}} - \frac{1}{2}\emptyset_{\text{tulangan lentur}}$$

$$d = 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 29$$

$d = 595,5 \text{ mm}$

- Hasil output SAP 2000:

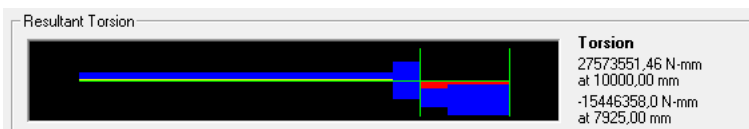
Setelah dilakukan analisa menggunakan program bantu struktur SAP 2000, maka didapatkan hasil perhitungan struktur dan diagram gaya dalam. Hasil dari program bantu struktur SAP 2000 dapat digunakan pada proses perhitungan penulangan balok.

Untuk hasil analisa perhitungan tulangan balok, diambil momen terbesar dari beberapa kombinasi akibat beban gravitasi dan gempa.

Hasil output torsi

Kombinasi : envelope

Momen puntir : 15.446.358 Nmm

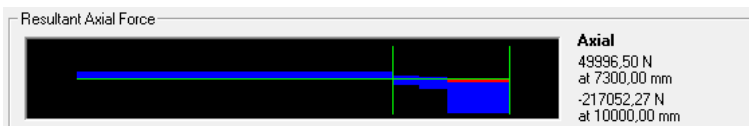


Gambar 4.36 Momen Torsi Balok BS

Hasil output aksial

Kombinasi : envelope

Gaya aksial : 217.052,27 N

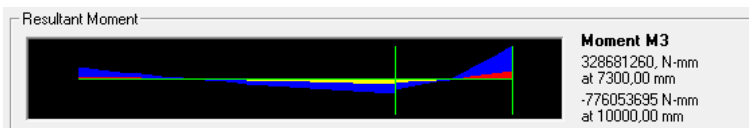


Gambar 4.37 Gaya Aksial Balok BS

Hasil output momen lentur

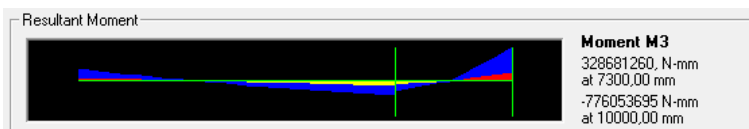
Kombinasi : envelope

Momen lentur lapangan : 328.681.260 Nmm



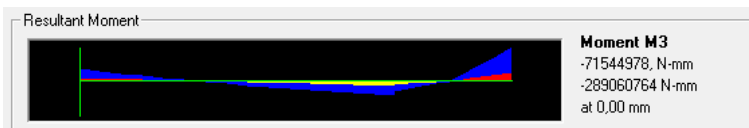
Gambar 4.38 Momen Kanan dan Lapangan Balok BS

Kombinasi : envelope
 Momen lentur tumpuan kanan : 776.053.695 Nmm



Gambar 4.39 Momen Kanan dan Lapangan Balok BS

Kombinasi : envelope
 Momen lentur tumpuan kiri : 289.060.764 Nmm

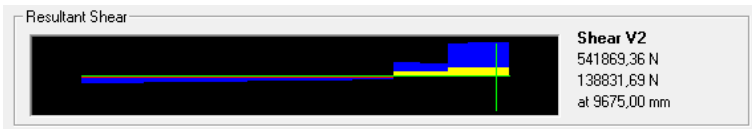


Gambar 4.40 Momen Kiri Balok BS

Hasil output gaya geser

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2 sengkang pertama harus ditempatkan tidak lebih dari 50 mm dari muka komponen struktur penumpu. Maka, V_u diambil sebesar:

Kombinasi : envelope
 Gaya geser : 541.869,36 N



Gambar 4.41 Gaya Geser Balok BS

- Syarat gaya aksial balok :
Balok harus memenuhi persyaratan batas gaya tekan aksial **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2**. Sesuai ketentuan SRPMM bahwa gaya tekan aksial terfaktor, **Pu**, untuk komponen struktur tidak melebihi **$Ag \cdot f_c' / 10$** dengan perhitungan dibawah ini:

$$\frac{Ag Fc'}{10} = \frac{450mm \times 650mm \times 30MPa}{10}$$

$$\frac{Ag Fc'}{10} = 877.500 N$$

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L pada komponen struktur yang ditinjau sebesar 5.821,65 N

Maka sesuai persamaan :

$$Pu < \frac{Ag Fc'}{10}$$

$$217.052,27 N < 877.500 N \quad \textbf{(Memenuhi)}$$

- Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser dan puntir
Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton :

$$A_{cp} = b_{balok} \times h_{balok}$$

$$A_{cp} = 450mm \times 650mm$$

$$A_{cp} = 292.500 \text{ mm}^2$$

Perimeter luar irisan penampang beton A_{cp} :

$$P_{cp} = 2 \times (b_{balok} + h_{balok})$$

$$P_{cp} = 2 \times (450 \text{ mm} + 650 \text{ mm})$$

$$P_{cp} = 2.200 \text{ mm}$$

Luas penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$A_{oh} = (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})$$

$$A_{oh} = (450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

$$A_{oh} = 201.600 \text{ mm}^2$$

Keliling penampang dibatasi as tulangan sengkang :

$$P_{oh} = 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})]$$

$$P_{oh} = 2 \times [(450 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (650 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})]$$

$$P_{oh} = 1.840 \text{ mm}$$

- **Perhitungan tulangan puntir**

Berdasarkan hasil analisa struktur SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar akibat kombinasi envelope.

Momen puntir ultimate:

$$T_u = 15.446.358 \text{ Nmm}$$

Momen puntir nominal:

$$T_n = \frac{T_u}{\phi} = \frac{15.446.358}{0,75} = 20.595.144 \text{ Nmm}$$

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor ***T_u*** besarnya kurang dari beberapa kondisi dibawah ini.

$$T_u \text{ min} = \emptyset 0,083 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \text{ min} = \emptyset 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{292.500^2}{2.200} \right)$$

$$T_u \text{ min} = 13.259.557,87 \text{ Nmm}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum T_u dapat diambil sebesar:

$$T_u \max = \phi 0,33 \lambda \sqrt{F_c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_u \max = \phi 0,33 \cdot 1 \cdot \sqrt{30} \left(\frac{292.500^2}{2.200} \right)$$

$$T_u \max = 52.718.724,07 \text{ Nmm}$$

Cek pengaruh puntir

$T_u < T_{u \min}$, maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u \min}$, maka memerlukan tulangan puntir

$T_u > T_{u \min}$

$$15.446.358 \text{ Nmm} > 13.259.557,87 \text{ Nmm}$$

(tulangan puntir diperhitungkan)

Jadi, penampang balok memerlukan penulangan puntir berupa tulangan memanjang dan sengkang-sengkang tertutup.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3 :**

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \times d} \right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \times A_o h^2} \right)^2} \leq \phi \left(\frac{\frac{1}{6} \sqrt{f_c'} b \times d}{b \times d} + \left(\frac{2 \sqrt{f_c'}}{3} \right) \right)$$

$$2,06 \leq 4,56 \quad \textbf{(memenuhi)}$$

Maka penampang balok sloof mencukupi untuk menahan momen puntir.

Tulangan puntir untuk lentur

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.7** direncanakan berdasarkan persamaan berikut.

$$A_l = \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi$$

Dengan A_t/s dihitung sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6** berasal dari persamaan berikut:

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times F_{yt}}{s} \cot \phi$$

Untuk beton non prategang $\phi = 45^\circ$

Dimana, $A_o = 0,85 A_{oh}$

Maka :

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 A_{oh} \\ &= 0,85 \cdot 201.600 \text{ mm}^2 \\ &= 171.360 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{2 \times A_o \times F_{yt} \times \cot \phi} \\ \frac{A_t}{s} &= \frac{20.595.144}{2 \times 171.360 \times 400 \times \cot 45^\circ} \\ \frac{A_t}{s} &= 0,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan puntir untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t}{s} P_h \left(\frac{F_{yt}}{F_y} \right) \cot^2 \phi \\ A_l &= 0,24 \cdot 184 \left(\frac{400}{400} \right) \cot^2 45^\circ \\ A_l &= 171 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3** tulangan torsi longitudinal minimum harus diambil nilai dengan ketentuan :

$$\begin{aligned} \frac{A_t}{s} &\geq \frac{0,175 \times b_w}{F_{yt}} \\ 0,24 \text{ mm} &\geq \frac{0,175 \times 450}{400} \\ 0,24 \text{ mm} &\geq 0,2 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)} \\ \text{Maka nilai } A_t/s &\text{ diambil } 0,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

Periksa nilai $A_{l_{min}}$ dengan persamaan :

$$\begin{aligned}
 Al_{min} &= \left(\frac{0,42 \times \sqrt{f'c} \times Acp}{Fy} \right) - \frac{At}{s} \times Poh \times \frac{Fyt}{Fy} \\
 Al_{min} &= \left(\frac{0,42 \times \sqrt{30} \times 292.500}{400} \right) - 0,24 \times 1.840 \times \frac{400}{400} \\
 Al_{min} &= 1234,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Periksa penggunaan Al dengan 2 kondisi sebagai berikut.

Al perlu \leq Al min, maka menggunakan Al min

Al perlu \geq Al min, maka menggunakan Al perlu

Maka :

Al perlu $>$ Al min

$$171 \text{ mm}^2 < 1234,44 \text{ mm}^2$$

Sehingga digunakan Al sebesar 1.234,44 mm²

Dipakai luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata pada empat sisi penampang balok sehingga diperoleh kebutuhan luasan tulangan tiap sisinya, yaitu:

$$\frac{Al}{4} = \frac{1.234,44}{4} = 308,61 \text{ mm}^2$$

Penyebaran penulangan torsi pada tulangan memanjang dibagi setiap sisinya:

Sisi atas : disalurkan pada tulangan tarik balok

Sisi bawah : disalurkan pada tulangan tekan balok

Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan puntir sebesar 308,61 mm².

Pada sisi kanan dan sisi kiri dipasang luasan tulangan puntir sebesar:

$$2 \times \frac{Al}{4} = 617,22 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan D22 mm pada tulangan puntir pada 2 sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan sejumlah :

$$n = \frac{As}{Luasan D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{617,22}{\frac{1}{4} \pi 22^2}$$

$$n = 1,6 \text{ pasang } 2 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan puntir **2D22**

$$\begin{aligned} A_{S\text{pasang}} &= n \times A_{\text{tul.puntir}} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 22^2 \\ &= 760 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{rcl} A_{S\text{pasang}} & \geq & A_{S\text{perlu}} \\ 760 \text{ mm}^2 & \geq & 617 \text{ mm}^2 \quad \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Sehingga dipasang tulanga puntir ditumpuan kiri, lapangan dan tumpuan kanan sebesar **2D22**.

- **Perhitungan tulangan lentur**
DAERAH TUMPUAN KIRI

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 595,5$$

$$Xb = 357,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 267,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 54,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana} \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 100 \\
 &= 975.375 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 Asc &= \frac{975.375}{400} \\
 Asc &= 2.438,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 Mnc &= 2.438,44 \times 400 \left(595,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 Mnc &= 539.382.375 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 Mu &= 289.060.764 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 Mn &= \frac{289.060.764}{0,9} \\
 Mn &= 321.178.626,7 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 321.178.626,7 - 539.382.375 \\
 &= -218.203.748,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$M_{ns} = -218.203.748,3 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + F_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$R_n = \frac{M_n}{b \cdot d^2} = \frac{321.178.626,7}{450 \cdot 595,5^2} = 2,01$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{F_y}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 2,01}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,0052$$

Syarat : $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

$0,0035 < 0,0052 < 0,02$ **(TIDAK OKE)**

Luasan perlu (A_{sperlu}) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{sperlu} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0052 \cdot 450 \cdot 595,5 \\ &= 1406,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\
 &= 1406,23 + 308,6 \\
 &= 1714,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{Luasan D \text{ lentur}}{1714,85}} \\
 n &= \frac{1}{\frac{1}{4}\pi 29^2} \\
 n &= 2,6 \text{ pasang } 3 \text{ buah} \\
 &\text{Dipasang tulangan tarik } \mathbf{3D29}.
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{pasang}} &= n \times A_{Stul \text{ tarik}} \\
 &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\
 &= 1981,56 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{pasang}} &\geq A_{S\text{perlu}} \\
 1981,56 \text{ mm}^2 &\geq 1714,85 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$\begin{aligned}
 A_{S'\text{perlu}} &= 0,3 A_{S\text{pasang}} \\
 &= 0,3 \cdot 1981,56 \\
 &= 594 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s}{\frac{Luasan D \text{ lentur}}{594}} \\
 n &= \frac{1}{\frac{1}{4}\pi 29^2} \\
 n &= 0,9 \text{ pasang } 2 \text{ buah} \\
 &\text{Dipasang tulangan tekan } \mathbf{2D29}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{pasang}} &= n \times A_{Stul \text{ tekan}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\
 &= 1321,04 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{aligned}
 A_{S\text{pasang}} &\geq A_{S'\text{perlu}} \\
 1321,04 \text{ mm}^2 &\geq 594 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D29 dan tulangan tekan 1 lapis 2D29.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 29)}{3 - 1}$$

$$S_{maks} = 132 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 132 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 29)}{2 - 1}$$

$$S_{maks} = 292 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 292 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad \text{(memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok sloof BS 45/65 untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D29**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D29**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang

disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \pi 29^2 \\ &= 1981,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 29^2 \\ &= 1321,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq \frac{1}{3} M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$1321,04 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1981,56 \text{ mm}^2$$

$$1321,04 \text{ mm}^2 \geq 661 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_s \text{ pakai tulangan tarik } 3D29 = 1981,56 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ pakai tulangan tekan } 2D29 = 1321,04 \text{ mm}^2$$

$$a = \left(\frac{A_s \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1981,56 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 69,1 \text{ mm}$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$C_c' = 0,85 \times 450 \times 30 \times 69,1$$

$$C_c' = 792.623,83 \text{ N}$$

$$T = A_s \text{ pakai} \times f_y$$

$$T = 792.623,83 \text{ N}$$

$$Mn_{pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn_{pasang} = 792.623,83 \text{ N} \left(595,5 - \frac{69,1}{2} \right)$$

$$Mn_{pasang} = 444.632.650,8 \text{ Nmm}$$

Maka : $\phi M_{n_{pasang}} > M_u$

$$0,9 \times 444.632.650,8 \text{ Nmm} > 289.060.764 \text{ Nmm}$$

$$400.169.385,7 \text{ Nmm} > 289.060.764 \text{ Nmm} \quad \textbf{(OK)}$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BS (45/65) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D29**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D29**

- **Perhitungan tulangan lentur**
DAERAH TUMPUAN KANAN

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + F_y} \right) \times d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 595,5$$

$$Xb = 357,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{maks} &= 0,75 \times Xb \\ &= 267,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 54,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{rencana} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{rencana} \\
 &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 100 \\
 &= 975.375 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 Asc &= \frac{Cc'}{F_y} \\
 Asc &= \frac{975.375}{400} \\
 Asc &= 2438,44 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 Mnc &= Asc \times f_y \left(d - \frac{\beta_1 \times X_r}{2} \right) \\
 Mnc &= 2438,44 \times 400 \left(595,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\
 Mnc &= 539.382.375 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 Mu &= 776.053.695 \text{ Nmm} \\
 Mn &= \frac{Mux}{\phi} \\
 Mn &= \frac{776.053.695}{0,9} \\
 Mn &= 862.281.883,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 Mns &= Mn - Mnc \\
 &= 862.281.883,3 - 539.382.375 \\
 &= 322.899.508,3 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$M_{ns} < 0$$

$$M_{ns} = 322.899.508,3 \text{ Nmm} < 0 \text{ (perlu tulangan lentur tekan)}$$

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur rangkap.

Perencanaan tulangan lentur rangkap

$$C s' = T2 = \frac{M_n - M_{nc}}{(d - d')}$$

$$C s' = T2 = \frac{322.899.508,3}{(595,5 - 54,5)}$$

$$C s' = T2 = 1.593.866,7 \text{ N}$$

Kontrol tulangan tekan

$$f s' = \left(1 - \frac{d'}{x}\right) 600$$

$$f s' = \left(1 - \frac{54,5}{100}\right) 600$$

$$f s' = 273 \text{ MPa}$$

Kontrol:

$$F_s' < F_y$$

$$273 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \quad \textbf{(TIDAK LELEH)}$$

Sehingga tulangan tekan dianggap tidak leleh untuk nilai $f_s' = f_s$

Hitung tulangan tekan perlu dan tulangan tarik tambahan

Tulangan tekan perlu (A_s')

$$A_s' = \frac{C s'}{(f s' - 0,85 \cdot f c')}$$

$$A_s' = \frac{1.593.866,7}{(273 - 0,85 \cdot 30)}$$

$$A_s' = 6439,87 \text{ mm}^2$$

Tulangan tarik tambahan (A_{ss})

$$A_{ss} = \frac{T_2}{F_y}$$

$$A_{ss} = \frac{1.593.866,7}{400}$$

$$A_{ss} = 3984,67 \text{ mm}^2$$

Sehingga tulangan tarik perlu:

$$\begin{aligned} A_s &= A_{sc} + A_{ss} \\ &= 2438,44 + 3984,67 \\ &= 6423,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 6423,11 + 308,61 \\ &= 6731,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan tekan perlu:

$$\begin{aligned} A_s' &= A_s' \\ &= 6439,87 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{perlu}} &= A_s' + A_l/4 \\ &= 6439,87 + 308,61 \\ &= 6748,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol kekuatan:

$$\phi M_n \geq M_u$$

$$776.053.695 \text{ Nmm} \geq 776.053.695 \text{ Nmm (OK)}$$

Digunakan tulangan **D29** untuk tulangan tarik dan tulangan tekan balok.

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$n = \frac{6731,71}{\frac{1}{4} \pi 29^2}$$

$n = 10,19$ pasang 11 buah

Dipasang tulangan tarik **11D29**.

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul \text{ tarik}} \\ &= 11 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\ &= 7265,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{Spasang} \geq & A_{Sperlu} & \\ 7265,72 \text{ mm}^2 \geq & 6731,71 \text{ mm}^2 & \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{S'perlu} = 6748,48 \text{ mm}^2$$

$A_{S'perlu}$

$$n = \frac{A_{S'perlu}}{\text{Luasan } D \text{ puntir}}$$

$$6748,48$$

$$n = \frac{1}{\frac{1}{4} \pi 29^2}$$

$n = 10,21$ pasang 11 buah

Dipasang tulangan tekan **11D29**

$$\begin{aligned} A_{Spasang} &= n \times A_{Stul \text{ tekan}} \\ &= 11 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\ &= 7265,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$\begin{array}{ccc} A_{Spasang} \geq & A_{Sperlu} & \\ 7265,72 \text{ mm}^2 \geq & 6748,48 \text{ mm}^2 & \text{(memenuhi)} \end{array}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol tulangan tarik

Direncanakan tulangan disusun 2 lapis :

Lapis 1 : **6D29**

Lapis 2 : **5D29**

Kontrol lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 29)}{6 - 1}$$

$$S_{maks} = 35,2 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 35,2 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol lapis 2

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{maks} = 51,25 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 51,25 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

kontrol tulangan tekan

Direncanakan tulangan disusun 1 lapis :

Lapis 1 : **6D29**

Lapis 2 : **5D29**

Kontrol lapis 1

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times tselimut) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 29)}{6 - 1}$$

$$S_{maks} = 35,2 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{ccc} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 35,2 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol lapis 2

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 25)}{5 - 1}$$

$$S_{maks} = 51,25 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S_{maks} \geq S_{sejajar}$$

$$51,25 \text{ mm} \geq 30 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok sloof (BS 45/65) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D29**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **5D29**

Tulangan lentur tekan lapis 1 = **6D29**

Tulangan lentur tekan lapis 2 = **5D29**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 11 \times \frac{1}{4} \pi 29^2 \\ &= 7265,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luas} D \text{ lentur} \\ &= 11 \times \frac{1}{4} \pi 29^2 \\ &= 7265,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$7265,72 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 7265,72 \text{ mm}^2$$

$$7265,72 \text{ mm}^2 \geq 2422 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik 11D29 = 7265,72 mm²

As pakai tulangan tekan 11D29 = 7265,72 mm²

$$a = \frac{(A_s \cdot f_y - A_s' \cdot f_s')}{0,85 \cdot f_c' \cdot b}$$

$$a = 0 \text{ mm}$$

$$C_c' = 0,85 \times b \times f_c' \times 0$$

$$C_c' = 0 \text{ N}$$

$$C_s' = A_s' \times f_s'$$

$$C_s' = 7265,72 \times 273$$

$$C_s' = 1.983.541,13 \text{ N}$$

$$M_n = \left(C_c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C_s' \times (d - d'))$$

$$M_n = 1.073.095.749 \text{ Nmm}$$

Kontrol :

$$\Theta M_{n\text{pasang}} > M_u$$

$$912.131.386,7 \text{ Nmm} > 328.681.260 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BS (45/65) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik lapis 1 = **6D29**

Tulangan lentur tarik lapis 2 = **5D29**

Tulangan lentur tekan lapis 1 = **6D29**

Tulangan lentur tekan lapis 2 = **5D29**

- Perhitungan tulangan lentur **DAERAH LAPANGAN**

garis netral dalam kondisi balance

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + Fy} \right) \times d$$

$$Xb = \left(\frac{600}{600 + 400} \right) \times 595,5$$

$$Xb = 357,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\text{maks}} &= 0,75 \times Xb \\ &= 267,98 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\text{min}} &= d' \\ &= 54,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \cdot 30 \cdot 450 \cdot 0,85 \cdot 100 \\ &= 975.375 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas tulangan tarik

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{Cc'}{Fy} \\ &= \frac{975.375}{400} \\ Asc &= 2438,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times fy \left(d - \frac{\beta_1 \times Xr}{2} \right) \\ Mnc &= 2438,44 \times 400 \left(595,5 - \frac{0,85 \times 100}{2} \right) \\ Mnc &= 539.382.375 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu = 328.681.260 \text{ Nmm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{\phi}$$

$$Mn = \frac{328.681.260}{0,9}$$

$$Mn = 365.201.400 \text{ Nmm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$Mns > 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$Mns \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} Mns &= Mn - Mnc \\ &= 365.201.400 - 539.382.375 \\ &= -174.180.975 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$Mns < 0$$

$Mns = -174.180.975 \text{ Nmm} < 0$ (tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

Perencanaan tulangan lentur tunggal

$$m = \frac{F_y}{0,85 f_c'} = \frac{400}{0,85 \cdot 30} = 15,69$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_b = \frac{0,85 f_c' \beta}{f_y} \times \frac{600}{600 + F_y}$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot 30 \cdot 0,85}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0,0325$$

$$\rho_{max} = 0,75 \rho_b = 0,0244$$

$$Rn = \frac{Mn}{b \cdot d^2} = \frac{365.201.400}{450.595,5^2} = 2,29$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot Rn}{Fy}} \right)$$

$$\rho = \frac{1}{15,69} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 15,69 \cdot 2,29}{400}} \right)$$

$$\rho = 0,006$$

$$\text{Syarat : } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,006 < 0,02$$

(TIDAK OKE)

Luasan perlu ($A_{s\text{perlu}}$) tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,006 \cdot 450 \cdot 590,5 \\ &= 1608,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan puntir longitudinal untuk lentur:

$$\begin{aligned} A_{s\text{perlu}} &= A_s + A_l/4 \\ &= 1608,94 + 308,61 \\ &= 1917,55 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan tarik:

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}}$$

$$n = \frac{1917,55}{\frac{1}{4} \pi 29^2}$$

$$n = 2,9 \text{ pasang } 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan tarik **3D29**.

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times A_{s\text{tul tarik}} \\ &= 3 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\ &= 1981,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s\text{pasang}} \geq A_{s\text{perlu}} \\ 1981,56 \text{ mm}^2 \geq 1917,55 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Jumlah tulangan tekan:

$$A_{s'\text{perlu}} = 0,3 A_{s\text{pasang}} \\ = 0,3 \cdot 1981,56 \\ = 594 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s}{\text{Luasan } D \text{ lentur}} \\ = \frac{594}{\frac{1}{4} \pi 29^2}$$

$$n = 0,9 \text{ pasang}$$

2 buah

Dipasang tulangan tekan **2D29**

$$A_{s\text{pasang}} = n \times A_{s\text{tul tekan}} \\ = 2 \times \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 29^2 \\ = 1321,04 \text{ mm}^2$$

Kontrol luas tulangan:

$$A_{s\text{pasang}} \geq A_{s\text{perlu}} \\ 1321,04 \text{ mm}^2 \geq 594 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat:

$$S_{\text{maks}} \geq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{maks}} \leq S_{\text{sejajar}} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik 1 lapis 3D29 dan tulangan tekan 1 lapis 2D29.

Kontrol tulangan tarik:

$$S_{\text{maks}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times D_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1} \\ = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 29)}{3 - 1}$$

$$S_{\text{maks}} = 132 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 132 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Kontrol tulangan tekan:

$$S_{maks} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{\frac{n-1}{2-1}}$$

$$S_{maks} = \frac{450 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 29)}{2-1}$$

$$S_{maks} = 292 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\begin{array}{rcl} S_{maks} & \geq & S_{sejajar} \\ 292 \text{ mm} & \geq & 30 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk BS 45/65 untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D29**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D29**

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sebarang penampang sepanjang panjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1))

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1981,56 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= n_{pasang} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \pi 19^2 \\ &= 1321,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq \frac{1}{3} M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1321,04 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} 1981,56 \text{ mm}^2$$

$$1321,04 \text{ mm}^2 \geq 661 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Kontrol kemampuan penampang

As pakai tulangan tarik 3D29 = 1981,56 mm²

As pakai tulangan tekan 2D29 = 1321,04 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } \times Fy}{0,85 \times f'c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1981,56 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 69,1 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f'c' \times a$$

$$Cc' = 0,85 \times 450 \times 30 \times 69,1$$

$$Cc' = 792.623,83 \text{ N}$$

$$T = As \text{ pakai } \times fy$$

$$T = 792.623,83 \text{ N}$$

$$Mn \text{ pasang} = Cc' \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 792.623,83 \text{ N} \left(595,5 - \frac{69,1}{2} \right)$$

$$Mn \text{ pasang} = 444.632.650,8 \text{ Nmm}$$

Maka : $\phi Mn_{\text{pasang}} > Mu$

$$0,9 \times 444.632.650,8 \text{ Nmm} > 289.060.764 \text{ Nmm}$$

$$400.169.385,7 \text{ Nmm} > 289.060.764 \text{ Nmm} \quad (\text{OK})$$

Jadi dipasang tulangan lentur balok BS (45/65) untuk daerah lapangan:

Tulangan lentur tarik 1 lapis = **3D29**

Tulangan lentur tekan 1 lapis = **2D29**

- **Perhitungan tulangan geser**

Dalam perhitungan kebutuhan tulangan lentur balok didapatkan jumlah tulangan yang dibutuhkan pada tumpuan kanan dan tumpuan kiri balok induk. Luasan tersebut digunakan untuk mencari momen nominal kiri dan nominal kanan.

Berdasarkan hasil SAP 2000, gaya terfaktor geser terbesar diperoleh dari kombinasi envelope.

Momen nominal penampang

Momen nominal penampang dihitung sebagai momen nominal tumpuan kanan dan momen nominal tumpuan kiri.

1. Momen nominal kiri

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 3D29 = 1981,56 mm²

As' pakai tulangan tekan 2D29 = 1321,04 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik} \times F_y}{0,85 \times f_c' \times b} \right)$$

$$a = \left(\frac{1981,56 \times 400}{0,85 \times 30 \times 450} \right)$$

$$a = 69,07 \text{ mm}$$

$$M_{nl} = As \cdot F_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 1981,56 \cdot 400 \left(595,5 - \frac{69,07}{2} \right)$$

$$M_{nl} = 444.632.651 \text{ Nmm}$$

2. Momen nominal kanan

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut:

As pakai tulangan tarik 11D29 = 7265,71 mm²

As' pakai tulangan tekan 11D29 = 7265,71 mm²

$$a = \left(\frac{As \text{ pakai tul tarik } x Fy}{0,85 x f'c' x b} \right)$$

$$a = \left(\frac{7265,71 x 400}{0,85 x 30 x 450} \right)$$

$$a = 253,27 \text{ mm}$$

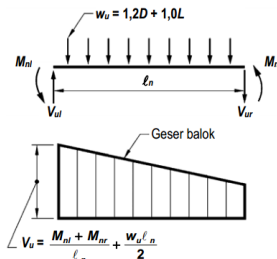
$$Mnr = As \cdot Fy \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$Mnr = 7265,71 \cdot 400 \left(595,5 - \frac{253,27}{2} \right)$$

$$Mnr = 1.362.654.638 \text{ Nmm}$$

Untuk mencari reaksi geser di ujung kanan dan kiri balok gaya gravitasi yang bekerja pada struktur berdasarkan SNI 03-2847-2013 gambar S21.5.4

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari:



Gambar 4.42 Desain Gaya Geser Balok

$$Vu1 = \frac{Mnl + Mnr}{Ln} + Vu$$

$$Vu = 541869,36 \text{ N}$$

$$Ln = L_{\text{balok}} - 2(0,5 \cdot b_{\text{kolom}})$$

$$= 10000 - 2(0,5 \cdot 650)$$

$$= 9350 \text{ mm}$$

$$Vu1 = \frac{444.632.651 + 1.362.654.638}{9350} + 541.869,36$$

$$Vu1 = 735.162,12 \text{ N}$$

Syarat kuat tekan beton (f_c')

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{f_c'} < \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30} < \frac{25}{3}$$

$$5,477 < 8,33 \quad (\text{memenuhi})$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_c = 0,17 \times 1 \times \sqrt{30} \times 450 \times 595,5$$

$$V_c = 249.519,12 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$V_{smin} = \frac{1}{3} \times 450 \times 595,5$$

$$V_{smin} = 89.325 \text{ N}$$

$$V_{smax} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$V_{smax} = \frac{1}{3} \times \sqrt{30} \times 450 \times 595,5$$

$$V_{smax} = 489.253,17 \text{ N}$$

$$2.V_{smax} = 978.506,35 \text{ N}$$

Pembagian wilayah geser balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadai 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang.

- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 sampai ke $\frac{1}{2}$ bentang balok.

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)

Perhitungan penulangan geser balok

WILAYAH 1 & 3 (TUMPUAN)

$$V_{u1} = 735.162,12 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 \rightarrow tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c$
 $735.162,12 \text{ N} > 93.569,67 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
2. kondisi 2 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot V_c \leq V_u \leq \phi V_c$
 $93.569,67 \text{ N} \leq 735.162,12 \text{ N} \leq 187.139,34 \text{ N}$
(memenuhi)
3. kondisi 3 \rightarrow memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi V_c \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{smin})$
 $187.139,34 \text{ N} \leq 735.162,12 \text{ N} > 254.133,09 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
4. kondisi 4 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\phi(V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \phi(V_c + V_{smax})$
 $254.133,09 \text{ N} \leq 735.162,12 \text{ N} > 554.079,22 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
5. kondisi 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\phi(V_c + V_{smax}) \leq V_u \leq \phi(V_c + 2V_{smax})$
 $554.079,22 \text{ N} \leq 735.162,12 \text{ N} \leq 921.019,1 \text{ N}$
(memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 5, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{Vu1}{\phi} - Vc$$

$$V_{sperlu} = \frac{735.162,12}{0,75} - 249.519,12$$

$$V_{sperlu} = 730.697,04 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$Av = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$Av = 265 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{Av \times fy \times d}{Vs}$$

$$s = \frac{265 \times 320 \times 595,5}{730.697,04}$$

$$s = 86,5 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{maks} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 595,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{maks} = 148,88 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-50 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$Av = \frac{V_{sperlu} \times s}{fy \times d}$$

$$Av = \frac{730.697,04 \times 50}{320 \times 595,5}$$

$$A_v = 153 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 0,24$$

Maka,

$$\begin{aligned} At &= 0,24 \text{ mm} \times s \\ &= 0,24 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \\ &= 12,2 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan:

$$\begin{aligned} A_v + 2At &= 153 \text{ mm}^2 + 2(12,2 \text{ mm}^2) \\ &= 178 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} A_v + 2At &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2At &= 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 50}{320} \\ A_v + 2At &= 23,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v + 2At &= 0,35 \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2At &= 0,35 \frac{450 \times 50}{320} \\ A_v + 2At &= 24,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2At = 213 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{ll} A_{v\text{pakai}} & > A_{v\text{perlu}} \\ 265,5 \text{ mm} & > 178 \text{ mm} \end{array}$$

(OK)

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus di pasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a) $d/4$
- b) delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c) 24 kali diameter sengkang dan
- d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{pakai} < d/4$
 $50 \text{ mm} < 595,5 \text{ mm}/4$
 $50 \text{ mm} < 148,88 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- b. $S_{pakai} < 8 \times D_{lentur}$
 $50 \text{ mm} < 8 \times 29 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 232 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- c. $S_{pakai} < 24 \times D_{geser}$
 $50 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 312 \text{ mm} \quad (\text{OK})$
- d. $S_{pakai} < 300 \text{ mm}$
 $50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \quad (\text{OK})$

Jadi digunakan sengkang D13-50 mm pada daerah tumpuan kanan dan kiri dipasang sejarak 50 mm dari ujung perletakan balok.

WILAYAH 2 (LAPANGAN)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga dengan perhitungan sebagai berikut:

$$\frac{Vu2}{0,5ln - 2h} = \frac{Vu1}{0,5ln}$$

$$Vu2 = \frac{Vu1 \times (0,5 \ln - 2h)}{0,5 \ln}$$

$$Vu2 = \frac{735.162,12 \times (0,5 \cdot 9350 - 2.650)}{0,5 \cdot 9350}$$

$$Vu2 = 530.732,01 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser
 $Vu \leq \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc$
 $530.732,01 \text{ N} > 93.569,67 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
2. kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \cdot \phi \cdot Vc \leq Vu \leq \phi Vc$
 $93.569,67 \text{ N} \leq 530.732,01 \text{ N} \leq 187.139,34 \text{ N}$
(memenuhi)
3. kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi Vc \leq Vu \leq \phi(Vc + Vs_{\min})$
 $187.139,34 \text{ N} \leq 530.732,01 \text{ N} > 254.133,09 \text{ N}$ (**tidak memenuhi**)
4. kondisi 4 → memerlukan tulangan geser
 $\phi(Vc + Vs_{\min}) \leq Vu \leq \phi(Vc + Vs_{\max})$
 $254.133,09 \text{ N} \leq 530.732,01 \text{ N} \leq 554.079,22 \text{ N}$
(memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser balok anak menggunakan persyaratan kondisi 4, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{Vu2}{\phi} - Vc$$

$$Vs_{\text{perlu}} = \frac{530.732,01}{0,75} - 249.519,12$$

$$Vs_{\text{perlu}} = 458.123,56 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser D13 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \times 2$$

$$A_v = 265 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{265 \times 320 \times 595,5}{458.123,56}$$

$$s = 138 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\text{maks}} \leq d/4 \leq 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 595,5/4 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks}} = 148,88 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Sehingga dipakai tulangan geser D13-100 mm.

Luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{V_{\text{perlu}} \times s}{f_y \times d}$$

$$A_v = \frac{458.123,56 \times 100}{320 \times 595,5}$$

$$A_v = 192 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan geser perlu ditambah dengan luas tulangan puntir dan disalurkan menjadi sengkang tertutup.

Pengaruh momen puntir

$$\frac{At}{s} = 0,24$$

Maka,

$$\begin{aligned} A_t &= 0,24 \text{ mm} \times s \\ &= 0,24 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \\ &= 24,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas gabungan:

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 192 \text{ mm}^2 + 2(24,3 \text{ mm}^2) \\ &= 241 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Periksa syarat luas tulangan minimum sengkang tertutup:

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 0,062 \sqrt{f_c'} \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2A_t &= 0,062 \sqrt{30} \frac{450 \times 100}{320} \\ A_v + 2A_t &= 47,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v + 2A_t &= 0,35 \frac{b \times s}{f_y} \\ A_v + 2A_t &= 0,35 \frac{450 \times 100}{320} \\ A_v + 2A_t &= 49,22 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan:

$$A_v + 2A_t = 241 \text{ mm}^2$$

Control :

$$\begin{array}{lll} A_{v_{\text{pakai}}} & > & A_{v_{\text{perlu}}} \\ 265,5 \text{ mm} & > & 241 \text{ mm} \end{array} \quad (\text{OK})$$

Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser

Pada sepanjang panjang komponen struktur lentur spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- d/2
- delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang dan

d) 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

- a. $S_{\text{pakai}} < d/2$
 $100 \text{ mm} < 595,5 \text{ mm}/2$
 $100 \text{ mm} < 297,75 \text{ mm}$ (OK)
- b. $S_{\text{pakai}} < 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $100 \text{ mm} < 8 \times 29 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 232 \text{ mm}$ (OK)
- c. $S_{\text{pakai}} < 24 \times D_{\text{geser}}$
 $100 \text{ mm} < 24 \times 13 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 312 \text{ mm}$ (OK)
- d. $S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$ (OK)

Jadi digunakan sengkang D13-100 mm pada daerah lapangan dipasang sejarak 100 mm.

- **Perhitungan panjang penyaluran**

Panjang penyaluran untuk tulangan lentur D19 dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2, 12.3, dan 12.5.

1) panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

$$ld = \left(\frac{F_y \cdot \Psi_t \Psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

Dimana,

Ψ_t = faktor lokasi tulangan, 1

Ψ_e = faktor pelapis tulangan, 1

λ = beton normal, 1

Maka,

$$ld = \left(\frac{400 \cdot 1 \cdot 1}{1,7 \cdot 1 \cdot \sqrt{30}} \right) 19$$

$$ld = 1245,8 \text{ mm}$$

Syarat:

$$L_d > 300 \text{ mm}$$

$$1245,8 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \quad \text{(memenuhi)}$$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_d$$

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{6731,71}{7265,71} 1245,8$$

$$l_{d_{reduksi}} = 1154,24 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$

- 2) Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \frac{0,24 F_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} d_b$$

$$l_{dc} = \frac{0,24 \cdot 400}{1 \sqrt{30}} 29$$

$$l_{dc} = 508 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 0,043 \cdot F_y \cdot d_b$$

$$l_{dc} = 438.400.29$$

$$l_{dc} = 499 \text{ mm}$$

Diambil nilai terbesar, $L_{dc} = 508 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran tulangan (tulangan lebih):

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} l_{dc}$$

$$l_{d_{reduksi}} = \frac{6748,48}{7265,72} 508$$

$$l_{d_{reduksi}} = 472 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

- 3) Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik.

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot f_y \Psi_e}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \geq 8d_b \text{ dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \cdot 400 \cdot 1}{1 \cdot \sqrt{30}} \right) 19 \geq 8 \times 29 \text{ mm dan } 150 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 508 \text{ mm} \approx 550 \text{ mm} \geq 232 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$l_{dh} = 508 \text{ mm} \approx 550 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

4) Panjang kait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = 12d_b$$

$$l_{dh} = 12 \times 29 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 348 \text{ mm} \approx 350 \text{ mm}$$

4.4.4 Kolom

Berikut ini akan dibahas mengenai perhitungan penulangan kolom jenis K1 (650 x 650) mm pada lantai 1 berdasarkan beban aksial ultimate terbesar (P_u). Perhitungan berikut berdasarkan data perencanaan dan hasil analisis program SAP 2000. Ketentuan perhitungan dan syarat-syarat penulangan menggunakan metode SRPMM.

➤ Data-data perencanaan:

Tipe kolom	: K1
Tinggi kolom atas	: 3750 mm
Tinggi kolom bawah	: 3000 mm
B kolom	: 650 mm
H kolom	: 650 mm
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton (E_c)	: 25742,96 MPa
Modulus elastisitas baja (E_s)	: 200000 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f_y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f_{yv})	: 320 MPa
Diameter tulangan lentur (D)	: 29 mm
Diameter tulangan geser (\emptyset)	: 10 mm
Tebal selimut	: 40 mm
Jarak spasi antar tulangan sejajar	: 30 mm
Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,9
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75

Faktor reduksi kekuatan torsi : 0,75

➤ Perhitungan penulangan kolom :

Maka, lebar efektif kolom:

$$d = b - \text{decking} - \text{Øsengkang} - \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur}$$

$$= 650 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 29$$

$$= 585,5 \text{ mm}$$

$$d' = \text{decking} + \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur}$$

$$= 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 29$$

$$= 64,5 \text{ mm}$$

$$d'' = b - \text{decking} - \text{Øsengkang} + \frac{1}{2} D \text{ tulangan lentur} - \frac{1}{2} b$$

$$= 650 - 40 - 10 + \frac{1}{2} \cdot 29 - \frac{1}{2} \cdot 650$$

$$= 289,5 \text{ mm}$$

$$A_g = b \times h$$

$$= 650 \times 650$$

$$= 422500 \text{ mm}^2$$

Berdasarkan hasil output SAP 2000 frame 163 didapatkan diagram analisa sebagai berikut :

Kombinasi : 1,4D

Nilai aksial : 1.203.236,32 N



Gambar 4.43 Gaya Aksial 1,4D

Kombinasi : 1,2D + 1,6L + 0,5Lr

Nilai : 2.305.167,26 N



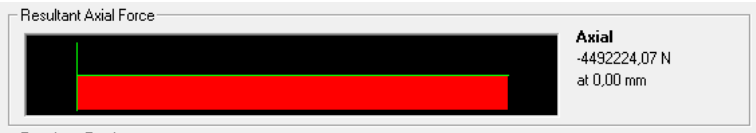
Gambar 4.44 Gaya Aksial 1,2D + 1,6L + 0,5Lr

Kombinasi : 1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L
Nilai : 5.198.435,97 N



Gambar 4.45 Gaya Aksial 1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L

Kombinasi : 1,2D + 1Ey + 0,3 Ex + 1L
Nilai : 4.492.224,07 N



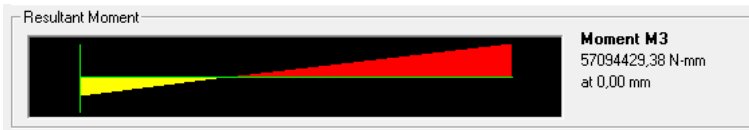
Gambar 4.46 Gaya Aksial 1,2D + 1Ey + 0,3 Ex + 1L

Momen akibat pengaruh beban gravitasi

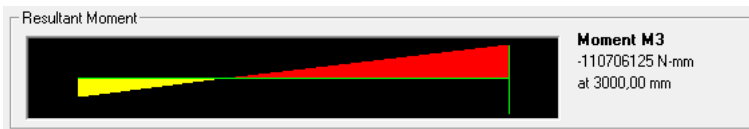
Akibat kombinasi 1D + 1L + 0,5 Lr:

Momen arah sumbu x

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5 Lr
Nilai M_{1ns} : 57.094.429,38 Nmm

Gambar 4.47 Momen Sb X M_{1ns} 1D + 1L + 0,5 Lr

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5 Lr
 Nilai M_{2ns} : 110.706.125Nmm

Gambar 4.48 Momen Sb X M_{2ns} 1D + 1L + 0,5 Lr**Momen arah sumbu Y**

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5 Lr
 Nilai M_{1ns} : 11.190.222 Nmm

Gambar 4.49 Momen Sb Y M_{1ns} 1D + 1L + 0,5 Lr

Kombinasi : 1D + 1L + 0,5 Lr
 Nilai M_{2ns} : 16.955.902,34 Nmm

Gambar 4.50 Momen Sb Y M_{2ns} 1D + 1L + 0,5 Lr

Keterangan :

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.
 M_{2ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

Momen akibat pengaruh gaya gempa

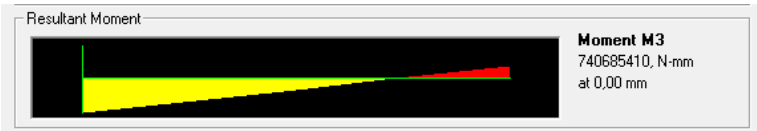
Momen arah sumbu X

Kombinasi : $1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L$
Nilai M_{1s} : 268.918.798 Nmm



Gambar 4.51 Momen Sb X M_{1s} $1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L$

Kombinasi : $1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L$
Nilai M_{2s} : 740.685.410 Nmm



Gambar 4.52 Momen Sb X M_{2s} $1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L$

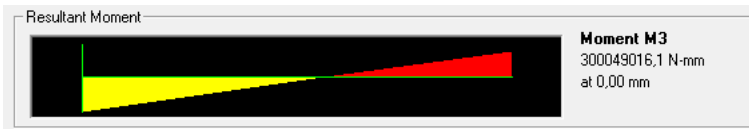
Momen arah sumbu Y

Kombinasi : $1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L$
Nilai M_{1s} : 234.627.142 Nmm



Gambar 4.53 Momen Sb Y M_{1s} $1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L$

Kombinasi : $1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L$
 Nilai M_{2s} : 300.049.016,1 Nmm



Gambar 4.54 Momen Sb Y M_{2s} $1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L$

Keterangan :

M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam satuan Nmm.

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam satuan Nmm.

Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh melebihi dari persamaan $Ag.fc/10$, bila P_u lebih besar maka perhitungan menggunakan SRPMM.

$$\frac{Ag.Fc'}{10} < P_u$$

$$\frac{422500.30}{10} < 5.198.435,97 N$$

$$1.267.500 N < 5.198.435,97 N$$

- **Perhitungan tulangan lentur**
Menghitung kontrol kelangsingan kolom

$$\beta d = \frac{Pu \text{ (akibat beban gravitasi)}}{Pu \text{ (akibat beban gempa)}}$$

$$\beta d = \frac{2.305.167,26 \text{ N}}{5.198.435,97 \text{ N}}$$

$$\beta d = 0,44$$

Keterangan :

βd = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

EI kolom (65/65)

$$Elk = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Ig = 0,7 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,7 \frac{1}{12} 650.650^3$$

$$Ig = 10412864583 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elk = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 10412864583}{1 + 0,43}$$

$$Elk = 74.283.359.134.948,6 \text{ Nmm}^2$$

EI balok induk memanjang (45/65)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} 450.650^3$$

$$Ig = 3.604.453.125 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elb = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3.604.453.125}{1 + 0,43}$$

$$Elb = 25.713.470.469.789,9 \text{ Nmm}^2$$

EI balok induk melintang (35/50)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} 350.500^3$$

$$Ig = 1.276.041.667 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elb = 9.103.034.101.478,24 \text{ Nmm}^2$$

EI balok sloof memanjang & melintang (45/65)

$$Elb = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta d}$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} b h^3$$

$$Ig = 0,35 \frac{1}{12} 450.650^3$$

$$Ig = 3.604.453.125 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$Elb = \frac{0,4 \times 25742,96 \times 3.604.453.125}{1 + 0,43}$$

$$Elb = 25.713.470.469.789,9 \text{ Nmm}^2$$

Selanjutnya, menghitung faktor panjang tekuk kolom (k) dengan persamaan sebagai berikut:

Kekakuan kolom atas

$$\psi_a = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom atas}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}}$$

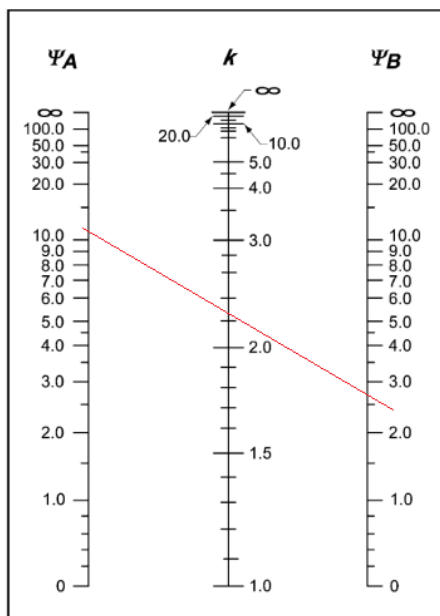
$$\psi_a = 12$$

Kekakuan kolom bawah

$$\psi_b = \frac{\Sigma (EI/L)_{kolom\ bawah}}{(EI/L)_{s1} + (EI/L)_{s1} + (EI/L)_{s1}}$$

$$\psi_b = 2,75$$

Selanjutnya digunakan nomogram untuk menentukan nilai faktor kekakuan kolom (k).



Gambar 4.55 Nomogram

Dari nomogram diatas didapatkan nilai $k = 2,22$

Menghitung jari-jari inersia (r)

$$r = 0,2887h$$

$$r = 0,2887 \times 650$$

$$r = 187,655 \text{ mm}$$

kontrol kelangsingan

$$\lambda = \frac{k \cdot lu}{r} \leq 22 \text{ (pengaruh langsing diabaikan)}$$

$$\lambda = \frac{2,22 \times 3000}{187.655} \leq 22$$

$$35,5 > 22$$

Sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 10.10 maka kolom termasuk kolom langsing.

Peninjauan kolom akibat momen arah X (M33)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah X sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa (1D + 1Ex + 0,3Ey + 1L)

$$M_{1s} = 268.918.798 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 740.685.410 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1D + 1L + 0,5Lr)

$$M_{1ns} = 57.094.429,38 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 110.706.125 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai P_c (kritis) pada kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot lu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 74.283.359.134.948,6}{(2,22 \times 3000)^2}$$

$$P_c = 16.528.857 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$\Sigma P_c = 49 \times 16.528.857$$

$$\Sigma P_c = 809.913.992 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$\Sigma P_u = 49 \times 5.198.435,07$$

$$\Sigma P_u = 254.723.363 \text{ N}$$

Menghitung pembesaran momen (δ_s)

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma Pu}{0,75 \times \Sigma Pc}} \geq 1$$

$$\delta s = \frac{1}{1 - \frac{254.723.363}{0,75 \times 809.913.992}} \geq 1$$

$$\delta s = 1,72 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta s = 1,72$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah X (M33)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 57.094.429,38 + (1,72 \times 268.918.798) \\ &= 520.222.313 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 110.706.125 + (1,72 \times 740.685.410) \\ &= 1.386.303.327,24 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 1.386.303.327,24 Nmm.

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{650} = 0,1$$

Sumbu vertikal :

$$v = \frac{Pu}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f'c'}$$

$$v = \frac{5.198.435,07}{0,65 \cdot 650 \cdot 650 \cdot 0,85 \cdot 30}$$

$$v = 0,74$$

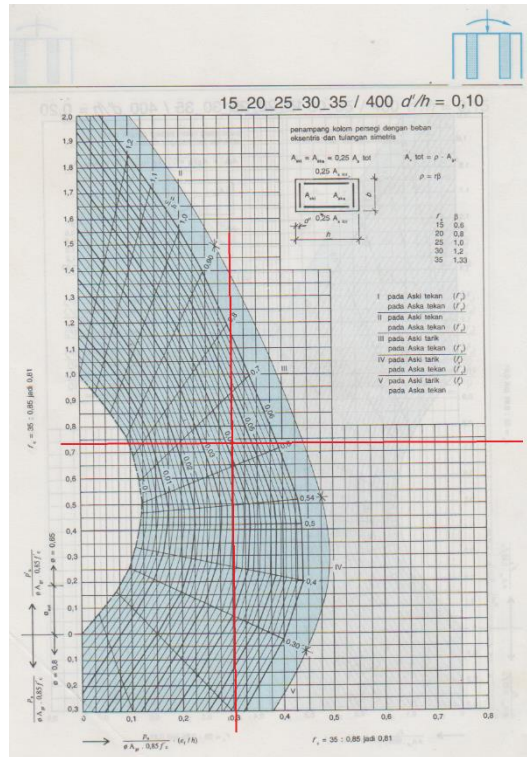
$$v = 0,74$$

sumbu horizontal

$$h = \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f_c'}$$

$$h = \frac{1.386.303.327,24}{0,65 \cdot 650 \cdot 650^2 \cdot 0,85 \cdot 30}$$

$$h = 0,30$$



Gambar 4.56 Diagram Interaksi Kolom Arah X

Maka didapatkan $\rho_{perlu} = 0,03$

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$A_{s_{perlu}} = \rho_{perlu} \times b \times h$$

$$= 0,03 \times 650 \times 650$$

$$= 12675 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan:

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \\ &= 660,52 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D29}}$$

$$n = \frac{12675}{660,52}$$

$$n = 19,19 \quad \text{pasang 20 buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}\text{A}_{\text{Spasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \\ &= 13210,4 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol tulangan:

$$\begin{array}{rcl}\text{A}_{\text{Spasang}} > & \text{A}_{\text{Sperlu}} & \\ 13210,4 \text{ mm}^2 > & 12675 \text{ mm}^2 & \text{(OK)}\end{array}$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\text{persentase} = \frac{\text{As pasang}}{\text{b x h}} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = \frac{13210,4}{650 \times 650} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = 3,13\% < 8\% \quad \text{(OK)}$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$Pn = \frac{5.198.435,07}{0,65}$$

$$Pn = 7.997.593,8 \text{ N}$$

$$Mn = \frac{1.386.303.327,24}{0,65}$$

$$Mn = 2.132.774.349,6 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{Mn}{Pn}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{2.132.774.349,6}{7.997.593,8}$$

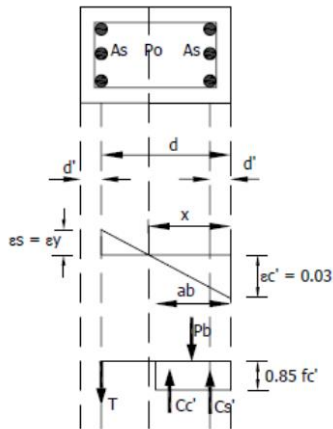
$$e \text{ perlu} = 266,68 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03h)$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03 \times 650)$$

$$e \text{ min} = 34,7 \text{ mm}$$

Cek kondisi balance



Syarat :

$$\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$$

$$xb = \frac{600}{600 + f_y} d$$

$$xb = \frac{600}{600 + 400} 585,5$$

$$xb = 351,3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Ab &= \beta_1 \cdot xb \\ &= 0,85 \cdot 351,3 \\ &= 298,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 4.947.293,72 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x_b \\ &= 4.949.377,88 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 5.284.158,84 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\ P_b &= 4.612.512,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c' (d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s' (d - d'' - d') + T d'' \\ &= 3.401.123.841,47 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_b &= M_b / P_b \\ &= 737,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

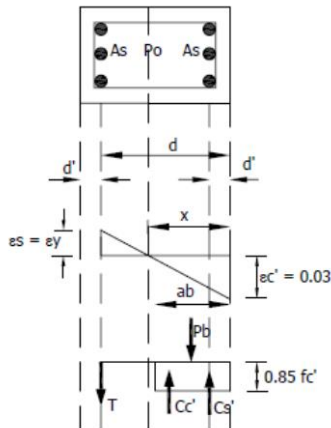
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (tekan menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

maka:

$34,7 \text{ mm} < 266,68 \text{ mm} < 737,37 \text{ mm}$ (kondisi tekan menentukan)

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :

$$e < e_b$$

$$34,7 \text{ mm} < 737,37 \text{ mm}$$

(OK)

$$P > P_b$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

Mencari nilai x

$$a = 0,54d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 585,5$$

$$x = 371,96 \text{ mm}$$

mencari nilai a

$$a = 0,85x$$

$$a = 0,85 \times 371,96$$

$$a = 316,17 \text{ mm}$$

syarat:

$$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\epsilon_s = \left(\frac{585,5}{371,96} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\epsilon_s = 0,00172$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{585,5}{371,96} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = 344,44 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400}{200.000}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \quad (\text{OK})$$

$$F_s < f_y$$

$$344,44 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad (\text{OK})$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 4.947.293,72 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x$$

$$= 5.240.517,75 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$= 5.284.158,84 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$P = 4.903.652,6 \text{ N}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$4.903.652,6 \text{ N} > 4.612.512,75 \text{ N} \quad (\text{OK})$$

$$M_n \text{ terpasang} = C_c' \cdot (d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s' \cdot (d - d'' - d') + T d''$$

$$= 3.397.808.486,14 \text{ Nmm}$$

Syarat:

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$3.397.808.486,14 \text{ Nmm} > 1.386.303.327,24 \text{ Nmm (OK)}$$

Peninjauan kolom akibat momen arah Y (M22)

Berdasarkan output analisis menggunakan program SAP 2000, diperoleh hasil gaya dalam arah Y sebagai berikut:

Akibat kombinasi beban gempa (1D + 1Ey + 0,3Ex + 1L)

$$M_{1s} = 234.627.142 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 300.049.016,1 \text{ Nmm}$$

Akibat kombinasi beban gravitasi (1D + 1L + 0,5Lr)

$$M_{1ns} = 11.190.222 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 16.955.902,34 \text{ Nmm}$$

Menghitung nilai Pc (kritis) pada kolom

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot lu)^2}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 74.283.359.134.948,6}{(2,22 \times 3000)^2}$$

$$P_c = 16.528.857 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$\Sigma P_c = 49 \times 16.528.857$$

$$\Sigma P_c = 809.913.992 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$\Sigma P_u = 49 \times 5.198.435,07$$

$$\Sigma P_u = 254.723.363 \text{ N}$$

Menghitung pembesaran momen (δ_s)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \times \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{254.723.363}{0,75 \times 809.913.992}} \geq 1$$

$$\delta s = 1,72 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta s = 1,72$ yang digunakan dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen kolom arah Y (M22)

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 11.190.222 + (1,72 \times 234.627.142) \\ &= 415.261.534,68 \text{ Nmm} \\ M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 16.955.902,34 + (1,72 \times 300.049.016,1) \\ &= 533.695.776,39 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Dalam 2 perhitungan pembesaran momen diatas digunakan hasil terbesar yaitu 533.695.776,39 Nmm.

Menentukan ρ_{perlu} dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai ρ_{perlu} untuk kebutuhan tulangan lentur kolom digunakan diagram interaksi berdasarkan buku Grafik dan Tabel Perhitungan Beton Bertulang.

Perhitungan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah:

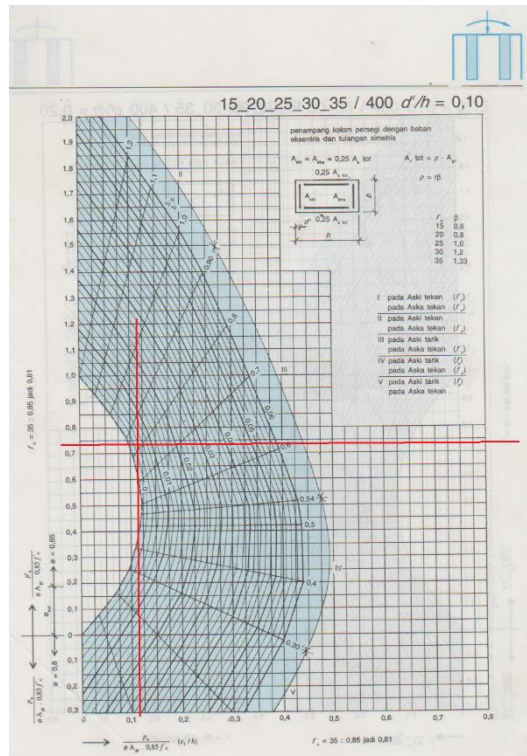
$$\frac{d'}{h} = \frac{62,5}{500} = 0,1$$

Sumbu vertikal :

$$\begin{aligned} v &= \frac{Pu}{\phi \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f'c'} \\ &= \frac{5.198.435,07}{0,65 \cdot 650 \cdot 650 \cdot 0,85 \cdot 30} \\ v &= 0,74 \end{aligned}$$

sumbu horizontal

$$\begin{aligned} h &= \frac{Mu}{\phi \cdot b \cdot h^2 \cdot 0,85 \cdot f'c'} \\ &= \frac{533.695.776,39}{0,65 \cdot 650 \cdot 650^2 \cdot 0,85 \cdot 30} \\ h &= 0,12 \end{aligned}$$



Gambar 4.57 Diagram Interaksi Kolom Arah Y

Maka didapatkan $\rho_{perlu} = 0,004$

Selanjutnya dihitung luas tulangan lentur yang dibutuhkan.

$$\begin{aligned} A_{S_{perlu}} &= \rho_{perlu} \times b \times h \\ &= 0,004 \times 650 \times 650 \\ &= 1690 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan D25, maka luas tulangan:

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \\ &= 660,52 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$n = \frac{As \text{ perlu}}{\text{luas tulangan } D29}$$

$$n = \frac{1690}{660,52}$$

$$n = 2,56 \quad \text{pasang 4 buah}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$A_{Spasang} = n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 4 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2$$

$$= 2642,08 \text{ mm}^2$$

Kontrol tulangan:

$$A_{Spasang} > A_{Sperlu}$$

$$2642,08 \text{ mm}^2 > 1690 \text{ mm}^2 \quad (\text{OK})$$

Persentase tulangan terpasang:

$$\text{persentase} = \frac{As \text{ pasang}}{b \times h} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = \frac{2642,08}{650 \times 650} \times 100\%$$

$$\text{persentase} = 0,63\% < 8\% \quad (\text{OK})$$

Mencari nilai e min dan e perlu

$$Pn = \frac{5.198.435,07}{0,65}$$

$$Pn = 7.997.593,8 \text{ N}$$

$$Mn = \frac{533.695.776,39}{0,65}$$

$$Mn = 821.070.425,21 \text{ Nmm}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{Mn}{Pn}$$

$$e \text{ perlu} = \frac{821.070.425,21}{7.997.593,8}$$

$$e \text{ perlu} = 102,66 \text{ mm}$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03h)$$

$$e \text{ min} = (15,24 + 0,03 \times 650)$$

$$e \text{ min} = 34,7 \text{ mm}$$

$$\Sigma V = 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$P_b = 4.882.004,85 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} M_b &= C_c'(d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s'(d - d'' - d') + Td'' \\ &= 955.121.059,92 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_b &= M_b / P_b \\ &= 195,64 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol kondisi:

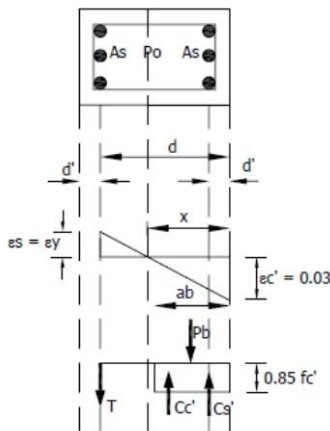
$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$ (tekan menentukan)

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ (tarik menentukan)

maka:

$$34,7 \text{ mm} < 102,66 \text{ mm} < 195,64 \text{ mm} \quad (\text{kondisi tekan menentukan})$$

Kontrol kondisi tekan menentukan



Syarat :

$$e < e_b$$

$$34,7 \text{ mm} < 195,64 \text{ mm}$$

(OK)

$$P > P_b$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

Mencari nilai x

$$\begin{aligned}
 a &= 0,54d \\
 0,85.x &= 0,54 \times 585,5 \\
 x &= 371,96 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

mencari nilai a

$$\begin{aligned}
 a &= 0,85x \\
 a &= 0,85.371,96 \\
 a &= 316,17 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

syarat:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y \rightarrow f_s < f_y$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = \left(\frac{585,5}{371,96} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$\varepsilon_s = 0,0017$$

$$f_s = \left(\frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = \left(\frac{585,5}{371,96} - 1 \right) \cdot 600$$

$$f_s = 344,44 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\varepsilon_y = \frac{400}{200.000}$$

$$\varepsilon_y = 0,002$$

Kontrol:

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,0017 < 0,002 \quad \quad \quad \textbf{(OK)}$$

$$F_s < f_y$$

$$344,44 \text{ MPa} < 400 \text{ MPa} \quad \quad \quad \textbf{(OK)}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 989.458,74 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot \beta_1 \cdot x \\ &= 5.240.517,75 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 1.056.831,77 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \rightarrow P_b = C_c' + C_s' - T \\ P &= 5.173.144,73 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat:

$$P > P_b$$

$$5.173.144,73 \text{ N} > 4.882.004,85 \text{ N} \quad \textbf{(OK)}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ terpasang} &= C_c'(d - d'' - \frac{1}{2} ab) + C_s'(d - d'' - d') + Td'' \\ &= 951.805.704,59 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$951.805.704,59 \text{ Nmm} > 533.695.776,39 \text{ Nmm} \quad \textbf{(OK)}$$

Berdasarkan peninjauan momen kolom arah X dan arah Y, maka digunakan penulangan lentur terbesar sesuai dengan peninjauan momen kolom arah X sebesar **20D29**.

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times D_{geser}) - (n \times D_{lentur})}{n - 1} \\ S_{maks} &= \frac{650 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 25)}{6 - 1} \end{aligned}$$

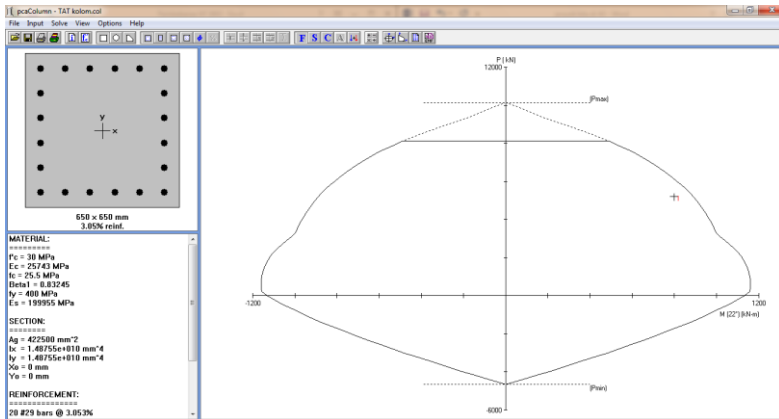
$$S_{maks} = 75,2 \text{ mm} > 30 \text{ mm} \quad \textbf{(OK)}$$

(maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

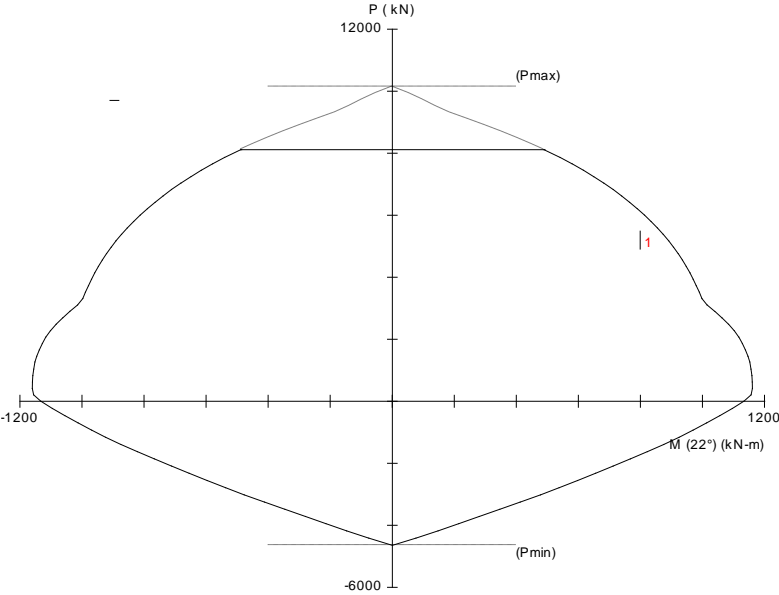
Cek dengan program PcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis PcaColumn

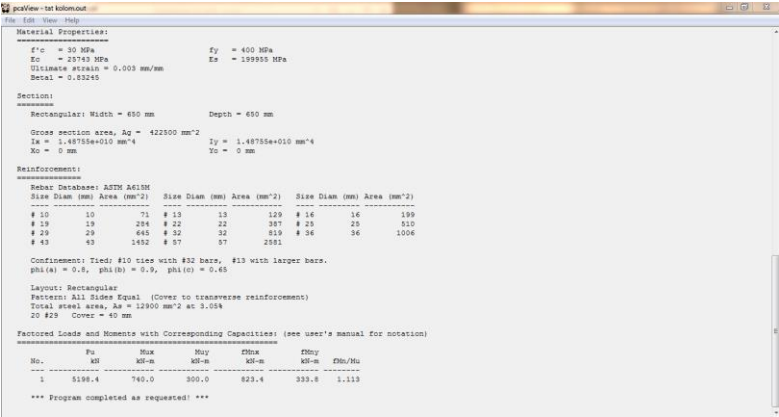
Mutu beton (f_c')	: 30 MPa
Mutu baja tulangan (f_y)	: 400 MPa
Modulus elastisitas	: 200.000 MPa
β_1	: 0,85
B kolom	: 650 mm
H kolom	: 650 mm
Mux (M33 kombinasi arah X)	: 740.685.410 Nmm
Muy (M22 kombinasi arah Y)	: 300.049.016,1 Nmm
Pu (kombinasi ultimate)	: 5.198.435,97 N
Tulangan kolom pasang	: 20D29



Gambar 4.58 Output PCaCOL



Gambar 4.59 Output Diagram Interaksi PCaCOL



Gambar 4.60 Hasil Output PCaCOL

Berdasarkan output dari PcaColumn

$$M_{ux} = 740 \text{ kNm} < M_{nx} = 823,4 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

$$M_{uy} = 300 \text{ kNm} < M_{ny} = 333,8 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak **20D29**.

Persentase tulangan terpasang

$$\begin{aligned} A_{s\text{pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 20 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 29^2 \\ &= 13.744,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\begin{aligned} \text{persentase} &= \frac{A_{s\text{ pasang}}}{\frac{b \times h}{13.210,4}} \times 100\% \\ \text{persentase} &= \frac{13.210,4}{650 \times 650} \times 100\% \\ \text{persentase} &= 3,13\% < 8\% \end{aligned}$$

(OK)

Kesimpulan :

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh program analisis PcaColumn lebih besar dibandingkan momen ultimate perhitungan SAP 2000, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

- **Perhitungan tulangan geser**

Data perencanaan

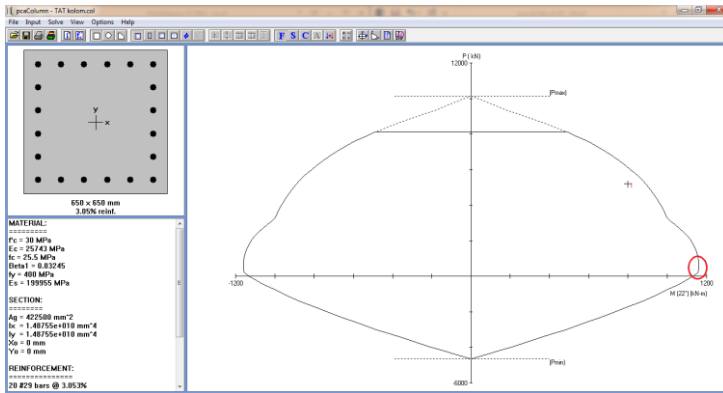
h kolom	: 650 mm
b kolom	: 650 mm
Tebal selimut beton	: 40 mm
Tinggi kolom	: 3000 mm
Mutu beton (f _{c'})	: 30 MPa
Kuat leleh tulangan lentur (f _y)	: 400 MPa
Kuat leleh tulangan geser (f _{yv})	: 240 MPa
Diameter tulangan lentur	: 29 mm
Diameter tulangan geser	: 10 mm
Faktor reduksi	: 0,75

Berdasarkan hasil analisis program SAP 2000, maka diperoleh beban aksial pada kolom K1 dengan kombinasi 1,2D + 1Ex + 0,3Ey + 1L sebagai berikut :

$$P_u = 5.198.435,97 \text{ N}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM

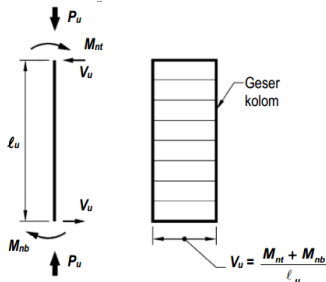
Diambil dari hasil PcaColumn sebagai berikut:



Gambar 4.61 Mnt dan Mnb Kolom dari PCaCOL

$$M_{nt} = 1.159.000.000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = 1.159.000.000 \text{ Nmm}$$



Gambar 4.62 Desain Geser Kolom

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

Dimana :

M_{nt} : Momen nominal atas kolom

M_{nb} : momen nominal bawah kolom

$$\begin{aligned} M_{nt} &= \frac{M_{nt}}{\phi} \\ M_{nt} &= \frac{1.159.000.000}{0,75} \\ M_{nt} &= 1.545.333.333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= \frac{M_{nb}}{\phi} \\ M_{nb} &= \frac{1.159.000.000}{0,75} \\ M_{nb} &= 1.545.333.333 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{1.545.333.333 + 1.545.333.333}{3000} \\ V_u &= 1.030.222,22 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton

Nilai $\sqrt{f'c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa sesuai dengan peraturan SNI 03-2847-2013.

$$\begin{aligned} \sqrt{f'c'} &\leq \frac{25}{3} \\ \sqrt{30} &\leq \frac{25}{3} \\ 5,48 \text{ MPa} &\leq 8,33 \text{ MPa} \quad \quad \quad \textbf{(OK)} \end{aligned}$$

Kekuatan geser pada beton:

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{30} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left(1 + \frac{5.198.435,97}{14 \times 422.500} \right) 1 \times \sqrt{30} \times 650 \times 585,5$$

$$V_c = 665.799,41 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{s_{\min}} = 1/3 \times b \times d$$

$$= 1/3 \times 650 \times 650$$

$$= 126.858,33 \text{ N}$$

$$V_{s_{\max}} = 1/3 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 1/3 \times \sqrt{30} \times 650 \times 650$$

$$= 694.831,71 \text{ N}$$

$$2V_{s_{\max}} = 2/3 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 2/3 \times \sqrt{30} \times 650 \times 650$$

$$= 1.389.663,42 \text{ N}$$

Cek kondisi:

1. kondisi 1 → tidak memerlukan tulangan geser
 $V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c$
 $1.030.222,22 \text{ N} > 249.674,78 \text{ N}$ **(tidak memenuhi)**
2. kondisi 2 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\frac{1}{2} \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c$
 $249.674,78 \text{ N} \leq 1.030.222,22 \text{ N} > 499.349,56 \text{ N}$
(tidak memenuhi)
3. kondisi 3 → memerlukan tulangan geser minimum
 $\phi V_c \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\min}})$
 $499.349,56 \text{ N} \leq 1.030.222,22 \text{ N} > 594.493,31 \text{ N}$
(tidak memenuhi)
4. kondisi 4 → memerlukan tulangan geser
 $\phi (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \phi (V_c + V_{s_{\max}})$
 $594.493,31 \text{ N} \leq 1.030.222,22 \text{ N} > 1.020.473,34 \text{ N}$
(tidak memenuhi)

5. kondisi 5 \rightarrow memerlukan tulangan geser
 $\phi(V_c + V_{s_{\max}}) < V_u < \phi(V_c + 2 \cdot V_{s_{\max}})$
 $1.020.473,34 \text{ N} < 1.030.222,22 \text{ N} < 1.541.597,12$
(memenuhi)

Maka, selanjutnya perhitungan penulangan geser kolom menggunakan persyaratan kondisi 5, yaitu memerlukan tulangan geser.

Beban gaya geser yang harus dipikul oleh tulangan geser:

$$V_{sperlu} = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$V_{sperlu} = \frac{1.030.222,22}{0,75} - 665.799,41$$

$$V_{sperlu} = 707.830,22 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki. Maka luas penampang tulangan geser yang diperlukan:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times n \text{ kaki}$$

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$A_v = 157 \text{ mm}^2$$

Spasi perlu tulangan:

$$s = \frac{A_v \times f_y \times d}{V_s}$$

$$s = \frac{157 \times 320 \times 585,5}{707.830,22}$$

$$s = 41,58 \text{ mm}$$

Syarat spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq d/2 \text{ dan } S_{\max} \leq 600 \text{ mm}$$

$$S = 585,5/2 = 292,75 \text{ mm}$$

$S = 292,75 \leq 600 \text{ mm}$ (OK)
 Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 10$ -100 mm.

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan geser kolom

1. berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2 spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi:
 - a) delapan kali diameter batang tulangan longitudinal terkecil yang dilingkupi
 $S_o \leq 8 \times D_{\text{lentur}}$
 $100 \text{ mm} \leq 8 \times 29 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 232 \text{ mm}$ (memenuhi)
 - b) 24 kali diameter batang tulangan begel
 $S_o \leq 24 \times D_{\text{geser}}$
 $100 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$ (memenuhi)
 - c) Setengah dimensi penampang kolom terkecil
 $S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$
 $100 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 650 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 325 \text{ mm}$ (memenuhi)
 - d) $S_o \leq 300 \text{ mm}$
 $100 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$ (memenuhi)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, dan S_{pakai} menggunakan 100 mm. Maka dipakai S_o sebesar $\emptyset 10$ -100 mm.

Panjang L_o tidak boleh kurang dari yang terbesar diantara ketiga syarat dibawah, yaitu:

- a) Seperenam betang bersih kolom
 $L_o = \frac{1}{6} \times (3000 - 500)$
 $L_o = 391,67 \text{ mm}$
- b) Dimensi terbesar penampang kolom
 $L_o = 650 \text{ mm}$
- c) $L_o > 450 \text{ mm}$

2. Sengkan ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times S_o = 0,5 \times 100 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok-kolom.
3. Spasi sengkan ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times S_o = 2 \times 100 \text{ mm} = 200 \text{ mm}$
 Sehingga dipasang sengkan sebesar $\varnothing 10-100 \text{ mm}$ sejarak 650 mm dari muka hubungan balok kolom.

Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times f_y \times d_b$, untuk $f_y = 400 \text{ MPa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm .

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 29 \geq 300 \text{ mm}$$

$$824 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Perhitungan panjang penyaluran tulangan kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D29 harus ditentukan menggunakan persamaan:

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{Cb + K_{tr}}{d_b} \right)} \right)$$

Keterangan :

Ψ_t adalah tulangan horizontal dipasang sehingga lebih dari 300 mm beton segar di bawah panjang penyaluran atau sambungan, $\Psi_t = 1,3$. Untuk situasi lainnya, $\Psi_t = 1,0$.

Ψ_e adalah untuk batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi dengan selimut kurang dari $3d_b$, atau spasi bersih kurang dari $6d_b$, $\Psi_t = 1,5$.

Untuk semua batang tulangan dilapisi epoksi, batang tulangan dilapisi ganda bahan seng dan epoksi, atau kawat dilapisi epoksi lainnya, $\Psi_e = 1,2$. Untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng (di galvanis), $\Psi_t = 1,0$.

Akan tetapi, hasil $\Psi_t \Psi_e$ tidak perlu lebih besar dari 1,7

Ψ_s adalah untuk batang tulangan atau kawat ulir D19 atau yang lebih kecil, $\Psi_t = 0,8$. Untuk batang tulangan D22 dan yang lebih besar, $\Psi_t = 1,0$.

λ adalah bila beton ringan digunakan, λ tidak boleh melebihi 0,75 kecuali jika f_{ct} ditetapkan. Bila berat beton normal digunakan, $\lambda = 1,0$.

Maka,

$$\frac{ld}{db} = \left(\frac{400}{1,1 \times 1\sqrt{30}} \frac{1 \times 1 \times 1}{\left(\frac{50}{29}\right)} \right)$$

$$\frac{ld}{db} = 38,5$$

$$ld = 38,5 \times 29 \text{ mm}$$

$$ld = 1116,69 \text{ mm} \approx 1200 \text{ mm}$$

4.4.5 Pondasi

Perhitungan menggunakan rumusan Luciana De Court (1996). Berdasarkan nilai N-SPT yang tinggi dan kategori tanah keras, berikut merupakan perhitungan daya dukung ijin borpile:

a. Data perencanaan

Kedalaman : 28 m

Diameter : 0,6 m

Luas tiang (A_p) : $\frac{1}{4} \pi d^2 = 0,28 \text{ m}^2$

Luas selimut tiang (A_s) : $\pi d \times \text{panjang tiang} = 52,78 \text{ m}^2$

Mutu beton (f_c') : 30 MPa

Safety factor : 3
 K : koefisien karakteristik tanah
 : 12 t/m² = tanah lempung
 : 20 t/m² = lanau berlempung
 : 25 t/m² = lanau berpasir
 : 40 t/m² = pasir

Tabel 4.46 Nilai Faktor α dan β

<i>pile/soil</i>	<i>clay</i>		<i>intermediate soil</i>		<i>sand</i>	
	α	β	α	β	α	β
<i>driven pile</i>	1	1	1	1	1	1
<i>bored pile</i>	0,85	0,8	0,6	0,65	0,5	0,5
<i>injection pile</i>	1	3	1	3	1	3

b. Perhitungan daya dukung ijin

Nilai N SPT kedalaman 27,5 m = 31 blow/m

Karena nilai N SPT lebih dari 15 maka N' dihitung dengan rumus dibawah ini

$$N' = 15 + 0,5 (N-15)$$

$$N' = 15 + 0,5 (31-15)$$

$$= 23$$

Np' adalah harga rata-rata SPT di sekitar 4D diatas hingga 4D dibawah dasar tiang pondasi, maka $4D = 4 \times 0,6 \text{ m} = 2,4 \text{ m}$.

Karena nilai N SPT diperoleh dari hasil borlog pertiap 2,5 m maka yang dihitung adalah rata-rata nilai N SPT pada kedalaman 25 m hingga 30 m, sehingga

Nilai N SPT 25 m : 30 blow/m

Sehingga nilai N' 20 m : 22,5 blow/m

Nilai N SPT 30 m : 25 blow/m

Sehingga nilai N' 30 m : 20 blow/m

$$Np' = \frac{23 + 22,5 + 20}{3}$$

$$Np' = 21,83 \text{ blow/m}$$

$$K = 20 \text{ t/m}^2$$

$$Qp = \alpha(Np' \times K) Ap$$

$$Qp = 0,85 \times (21,83 \times 20) \times 0,28$$

$$Qp = 104,94 \text{ T}$$

N_s adalah harga rata-rata sepanjang tiang yang tertanam dengan batasan $3 \leq N \leq 50$

$$N_s = \frac{30 + 31 + 25}{3}$$

$$N_s = 28,67$$

$$Q_s = \beta \left(\left(\frac{N_s}{3} \right) + 1 \right) A_s$$

$$Q_s = 0,8 \left(\left(\frac{28,67}{3} \right) + 1 \right) 52,78$$

$$Q_s = 445,69 \text{ T}$$

Sehingga daya dukung ijin pada kedalaman 27,5 m adalah

$$Q_L = Qp + Qs$$

$$Q_L = 445,69 + 104,94$$

$$Q_L = 550,63 \text{ Ton}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_L}{SF}$$

$$Q_{all} = \frac{550,63}{3}$$

$$Q_{all} = 183,54 \text{ Ton}$$

c. Perhitungan kebutuhan pondasi tiang

Perhitungan tiang bor pada masing-masing joint dilakukan dengan cara membagi gaya pada joint dengan nilai Q_{ALL} tiang bor. Gaya pada joint diperoleh dari hasil output SAP 2000.

Tabel 4.47 Kebutuhan Tiang Pancang Tiap Titik

No	Joint	P (Ton)	Kebutuhan Tiang	Tiang Pasang	<i>Pile Cap</i>
1	1	184,47	1,005044783	2	tipe 1
2	8	328,34	1,788889271	2	tipe 1
3	15	443,94	2,418710797	3	tipe 2
4	22	283,5	1,544588257	2	tipe 1
5	29	280,48	1,528134443	2	tipe 1
6	36	307,35	1,674529809	2	tipe 1
7	43	214,04	1,166150514	2	tipe 1
8	50	302,12	1,646035289	2	tipe 1
9	57	507,17	2,763205737	3	tipe 2
10	64	473,43	2,579380666	3	tipe 2
11	71	454,9	2,47842398	3	tipe 2
12	78	452,29	2,464203961	3	tipe 2
13	85	493,04	2,686221497	3	tipe 2
14	92	336,86	1,835308643	2	tipe 1
15	99	297,55	1,621136635	2	tipe 1
16	106	485,13	2,643125578	3	tipe 2
17	113	454,36	2,475481907	3	tipe 2
18	120	454,08	2,473956388	3	tipe 2
19	127	451,84	2,461752234	3	tipe 2
20	134	576,2	3,139300719	4	tipe 3
21	141	384,8	2,096499335	3	tipe 2
22	148	297,58	1,621300083	2	tipe 1
23	155	501,64	2,733076732	3	tipe 2
24	162	488,31	2,660451118	3	tipe 2
25	169	489,08	2,664646296	3	tipe 2
26	176	486,36	2,649826966	3	tipe 2
27	183	676,35	3,684946271	4	tipe 3
28	190	595,97	3,247013276	4	tipe 3

29	197	297,48	1,620755255	2	tipe 1
30	204	484,53	2,639856608	3	tipe 2
31	211	453,76	2,472212937	3	tipe 2
32	218	454,04	2,473738457	3	tipe 2
33	225	452,37	2,464639824	3	tipe 2
34	232	599,61	3,266845027	4	tipe 3
35	239	421,81	2,298140292	3	tipe 2
36	246	301,96	1,645163563	2	tipe 1
37	253	493,92	2,691015986	3	tipe 2
38	260	463,34	2,524407489	3	tipe 2
39	267	454,91	2,478478463	3	tipe 2
40	274	452,21	2,463768098	3	tipe 2
41	281	493,34	2,687855982	3	tipe 2
42	288	337,95	1,841247272	2	tipe 1
43	295	207,55	1,130791156	2	tipe 1
44	302	342,86	1,867998342	2	tipe 1
45	309	480,72	2,619098649	3	tipe 2
46	316	318,43	1,734896786	2	tipe 1
47	323	313,41	1,707546405	2	tipe 1
48	330	336,05	1,830895534	2	tipe 1
49	337	233,4	1,271629274	2	tipe 1

➤ **Perhitungan *pilecap* pondasi tipe 3**

- a) Data perencanaan
- Kedalaman pondasi = 27,5 m
 - Diameter pondasi (D) = 0,6 m
 - Bj beton = 2,4 t/m³
 - Modulus elastisitas = 200000 MPa
 - P_{ijin} *bore pile* = 183,54 Ton
 - Lebar kolom = 0,65 m
 - Tinggi kolom = 0,65 m
 - Tulangan utama = 22 mm
 - Tulangan sengkang = 13 mm
 - Mutu beton (f_c') = 30 MPa
 - Mutu baja (f_y) = 400 MPa

Tebal selimut beton = 50 mm (SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1.a)

b) Kebutuhan tiang bor pile

Pada perencanaan pondasi tipe 3 ini diambil gaya aksial beban terbesar, yaitu

$$P_{\max} = 676,35 \text{ Ton}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{ijin}} = \frac{676,35}{183,54} = 2,95 \approx 4 \text{ buah}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah

c) Perencanaan dimensi *pile cap*

Direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah

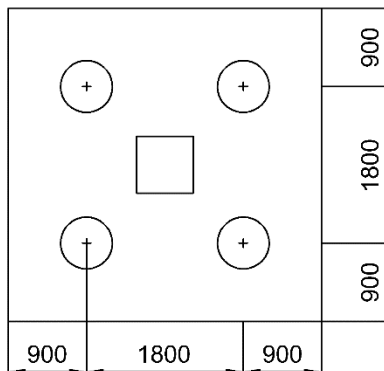
Perhitungan jarak antar tiang pancang (S)

$$3D = 1,8 \text{ m}$$

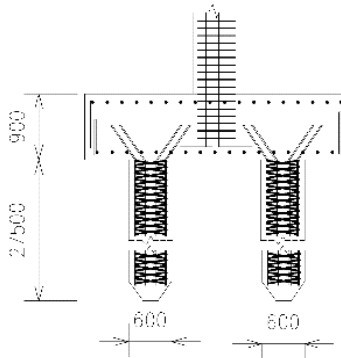
Perhitungan jarak tiang pancang ke tepi *pile cap* (S')

$$1,5D = 0,9 \text{ m}$$

Jadi dimensi *pile cap* pondasi tipe 3 ini adalah :



Gambar 4.63 Dimensi *Pile Cap* Tipe 3

Gambar 4.64 Potongan Dimensi *Pile Cap*

- d) Pengecekan ulang kebutuhan tiang *bore pile*

Direncanakan tebal *pile cap* = 0,9 m

$$P_{\max} = 676,35 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat } \textit{pile cap} = \frac{27,99}{\text{Ton}}$$

$$\text{Jumlah} = \frac{704,34}{\text{Ton}} = 6907,29 \text{ kN}$$

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{ijin}} = \frac{704,34}{183,54} = 3,84 \approx 4 \text{ buah}$$

Setelah ditambahkan berat sendiri *pile cap* dan tanah dengan dimensi tersebut tetap dibutuhkan 4 buah tiang *bore pile*.

- **Perhitungan penulangan *pilecap* tipe 3**

tebal *pilecap* (h) = 900 mm

$$d = h - \text{tebal selimut} - \text{diameter tulangan}$$

$$d = 900 - 50 - 22$$

$$d = 828 \text{ mm}$$

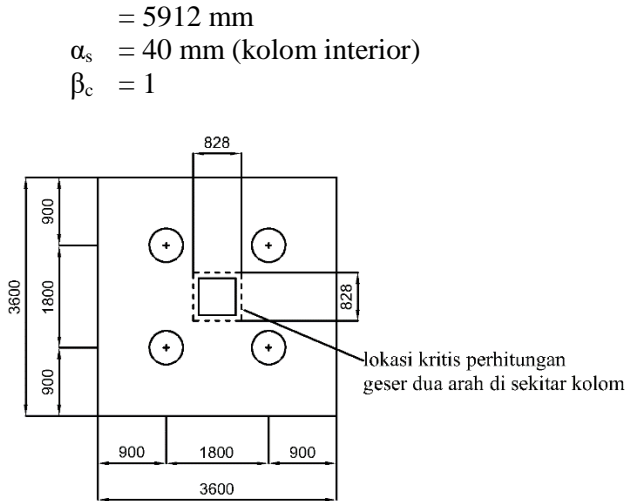
Pemeriksaan terhadap geser dua arah

- a. **Geser dua arah di sekitar kolom**

$$V_{u1} = 6907,29 \text{ kN}$$

$$b_o = 4(c+d)$$

$$= 4(650 + 828)$$



Gambar 4.65 Lokasi Geser Sekitar Kolom

nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai terkecil antara:

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1+2}{\beta_c} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(\frac{1+2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 5912 \times 828$$

$$V_{c1} = 14.769.608 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{40 \times 828}{5912} + 2 \right) 1 \times \sqrt{30} \times 5912 \times 828$$

$$V_{c2} = 18.273.182 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c3} = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 5912 \times 828$$

$$V_{c3} = 9.556.805 \text{ N}$$

Maka:

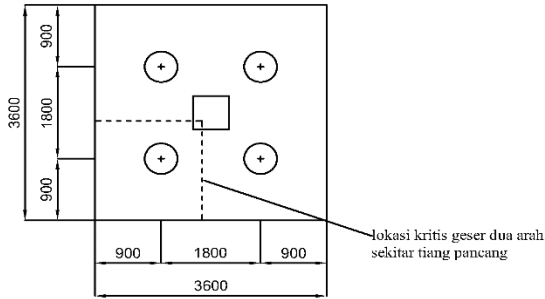
$$\phi V_n = 0,75 \cdot V_{c3} = 0,75 \times 9.556.805$$

$$\phi V_n = 7.167.604 \text{ N} = 7176,6 \text{ kN} > V_{u1} = 6907,29 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

b. Geser dua arah di sekitar tiang pancang

$$V_{u2} = \frac{6907,29}{4} = 1726,82 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} b_o &= 2 (1200 + c/2 + d/2) \\ &= 2 (1200 + 650/2 + 828/2) \\ &= 3878 \text{ mm} \end{aligned}$$



Gambar 4.66 Lokasi Geser Sekitar Tiang Pancang

nilai kuat geser pons dua arah untuk beton ditentukan dari nilai terkecil antara:

$$V_{c1} = 0,17 \left(\frac{1 + 2}{\beta c} \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c1} = 0,17 \times \left(\frac{1 + 2}{1} \right) \times 1 \times \sqrt{30} \times 3878 \times 828$$

$$V_{c1} = 8.189.238 \text{ N}$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c2} = 0,083 \left(\frac{40 \times 828}{3878} + 2 \right) 1 \times \sqrt{30} \times 3878 \times 828$$

$$V_{c2} = 16.131.336 \text{ N}$$

$$V_{c3} = 0,33 \lambda \sqrt{f'c'} b_o d$$

$$V_{c3} = 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times 3878 \times 828$$

$$V_{c3} = 5.298.919 \text{ N}$$

Maka:

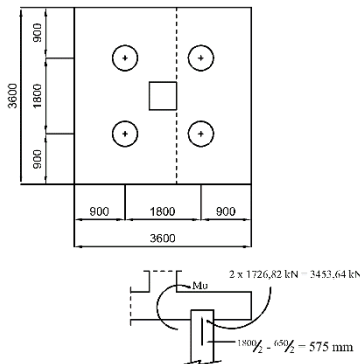
$$\phi V_n = 0,75 V_{c3} = 0,75 \times 5.298.919$$

$$\phi V_n = 3.974.189 \text{ N} = 3.974,19 \text{ kN} > V_{u2} =$$

$$1726,82 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Desain tulangan *pile cap*

Nilai momen lentur yang digunakan untuk mendesain penulangan *pile cap* diambil dari reaksi tiang pancang terhadap muka kolom. Dalam kasus ini ada dua buah tiang pancang yang menimbulkan momen terhadap muka kolom di masing-masing arah. Maka:



Gambar 4.67 Momen yang Terjadi pada *Pile Cap*

$$M_u = 2(1726,82) \left((1,8/2) - (0,65/2) \right)$$

$$M_u = 1985,84 \text{ kN.m}$$

$$R_n = \frac{Mu}{\phi b d^2} = \frac{1985,84 \times 10^6}{0,9 \times 3600 \times 828^2}$$

$$R_n = 0,89$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 f_c'}{f_y} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0,85 f_c'}} \right]$$

$$\rho_{perlu} = \frac{0,85 \times 30}{400} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 0,89}{0,85 \times 30}} \right]$$

$$\rho_{perlu} = 0,00227$$

$$A_{S_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d = 0,00227 \times 3600 \times 828$$

$$= 6765,3 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{1000 \times \pi \times 0,25 \times d^2}{A_{S_{perlu}}}$$

$$S = \frac{1000 \times \pi \times 0,25 \times 22^2}{6848,4}$$

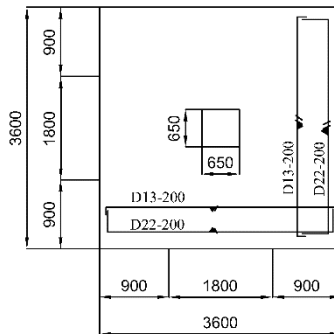
$$S = 202,28 \text{ mm}$$

Sehingga dipasang tulangan 21D22 atau D22-200 mm
dengan $A_s = 7982,79 \text{ mm}^2$

Tulangan susut dan suhu (atas):

$$A_{S_{susut}} = \rho \cdot b \cdot h = 0,0018 \times 3600 \times 900 = 6842,39 \text{ mm}^2$$

Sehingga dipasang tulangan 21D13 atau D13-200 mm.



Gambar 4.68 Desain Tulangan *Pile Cap* Tipe 3

4.4.6 Metode Pelaksanaan

Pada sub-bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan pelaksanaan pekerjaan balok dan pelat pada proyek pembangunan gedung perkantoran di kota Sumenep, Madura, Jawa Timur ini.

Metode pelaksanaan pekerjaan balok dan pelat pada proyek pembangunan gedung perkantoran ini memakai sistem konvensional. Semua pekerjaan balok dan pelat dilakukan langsung di lokasi yang direncanakan, mulai dari pembesian, pemasangan bekisting, pengecoran sampai perawatan.

1. Tahap persiapan

a. Pekerjaan pengukuran

Pengukuran ini bertujuan untuk mengatur/memastikan kerataan ketinggian balok dan pelat. Pada pekerjaan ini digunakan pesawat ukur *theodolite*.



Gambar 4.69 Pengukuran Menggunakan *Theodolithe*

b. Pembuatan bekisting

Pekerjaan bekisting balok dan pelat merupakan satu kesatuan pekerjaan, karena dilaksanakan secara bersamaan. Pembuatan panel bekisting balok harus sesuai dengan gambar kerja. Dalam pemotongan *plywood* harus cermat dan teliti sehingga hasil akhirnya sesuai dengan luasan pelat atau balok yang akan dibuat. Pekerjaan balok dilakukan langsung di lokasi dengan mempersiapkan material utama antara lain : balok kayu 5/7, balok kayu 6/12, dan papan *plywood*.



Gambar 4.70 Pembuatan Bekisting

c. Pabrikasi besi

Untuk balok, pemotongan dan pembengkokan besi dilakukan sesuai kebutuhan dengan *bar cutter* dan *bar bending*. Pembesian balok ada dilakukan dengan sistem pabrikasi dilakukan dengan sistem pabrikasi di los besi dan ada yang dirakit diatas bekisting yang sudah jadi. Sedangkan pembesian pelat dilakukan di atas bekisting yang sudah jadi.



Gambar 4.71 Pembesian di Los Besi

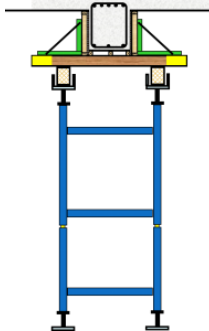
2. Tahap pekerjaan balok dan pelat

Pekerjaan balok dan pelat dilakukan secara bersamaan

a. Pembekistingan balok

Tahap pembekistingan balok adalah sebagai berikut:

- *Scaffolding* dengan masing-masing jarak 100 cm disusun sesuai dengan kebutuhan di lapangan, baik untuk bekisting balok maupun pelat.
- Memperhitungkan ketinggian *scaffolding* balok dengan mengatur *base jack* atau *U-head jack* nya.
- Pada *U-head* dipasang balok kayu 6/12 sejajar dengan arah *cross brace* dan diatas girder dipasang perancah tiap jarak 50 cm (kayu 5/7) dengan arah melintangnya, kemudian dipasang *plywood* sebagai alas balok.
- Setelah itu, dipasang dinding bekisting balok dan dikunci dengan siku yang dipasang diatas perancah.



Gambar 4.72 *Scaffolding*

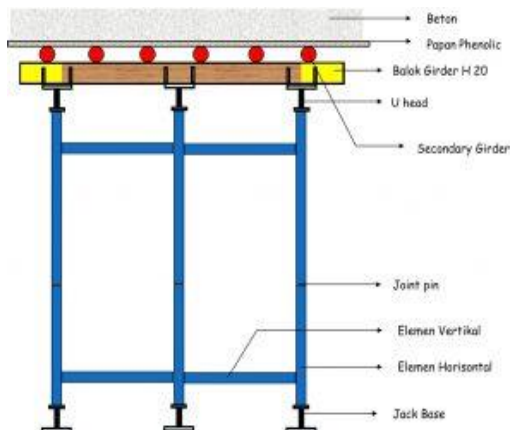
b. Pembekistingan pelat

Tahap pembekistingan pelat adalah sebagai berikut:

- *Scaffolding* disusun sejajar bersamaan dengan *scaffolding* untuk balok. Karena posisi pelat lebih tinggi dari pada balok maka *scaffolding* untuk pelat lebih tinggi daripada balok dan diperlukan *main frame* tambahan dengan menggunakan *joint pin*. Perhitungkan

ketinggian *scaffolding* pelat dengan mengatur *base jack* dan *U-head jack* nya.

- Pada *U-head* dipasang balok kayu (girder) 6/12 sejajar dengan arah *cross brace* dan diatas girder dipasang suri-suri dengan arah melintangnya.
- Kemudian dipasang *plywood* sebagai alas pelat. Pasang juga dinding untuk tepi pada pelat dan dijepit menggunakan siku. *Plywood* dipasang serapat mungkin, sehingga tidak terdapat rongga yang dapat menyebabkan kebocoran pada saat pengecoran.
- Semua bekisting rapat terpasang, sebaiknya diolesi dengan solar sebagai pelumas agar beton tidak menempel pada bekisting, sehingga dapat mempermudah dalam pekerjaan pembongkaran dan bekisting masih dalam kondisi layak pakai untuk pekerjaan berikutnya.



Gambar 4.73 *Scaffolding*

c. Pengecekan

Setelah pemasangan bekisting balok dan pelat dianggap selesai selanjutnya pengecekan tinggi level pada bekisting balok dan pelat dengan *waterpass*, jika sudah selesai maka bekisting untuk balok dan pelat sudah siap.

d. Pembesian balok

Tahap pembesian balok adalah sebagai berikut:

- untuk pembesian balok pada awalnya dilakukan pabrikan di los besi kemudian diangkat menggunakan *tower crane* ke lokasi yang akan dipasang.
- Besi tulangan balok yang sudah diangkat lalu diletakkan diatas bekisting balok dan ujung besi balok dimasukkan ke kolom.
- Pasang beton decking untuk jarak selimut beton pada alas dan samping balok lalu diikat.

Untuk pembesian balok dilakukan 3 kali perubahan dalam metode pemasangannya. Perubahan yang pertama yaitu semua besi tulangan dipabrikan seluruh bagian sampai balok jadi utuh, namun ada kendala pada saat pertemuan pembesian kolom sehingga dilakukan perubahan yang kedua yaitu dengan pembesian pabrikan sebagian, tulangan memanjang dan sengkang dipisah namun ada kendala pada saat pembersihannya dan perubahan yang terakhir semua bagian pembesian dilakukan ditempat yang akan dicor tidak dipabrikasikan lagi.



Gambar 4.74 Pembesian Balok di Lapangan

e. Pembesian pelat

Setelah tulangan balok terpasang. Selanjutnya adalah tahap pembesian pelat, antara lain:

- Pembesian pelat dilakukan langsung di atas bekisting pelat yang sudah siap. Besi tulangan diangkat menggunakan *tower crane* dan dipasang diatas bekisting pelat.
- Rakit pembesian dengan tulangan bawah terlebih dahulu.
- Selanjutnya secara menyilang dan diikat menggunakan kawat ikat.
- Letakkan beton *decking* antara tulangan bawah pelat dan bekisting alas pelat. Pasang juga tulangan kaki ayam antara tulangan atas dan bawah pelat.



Gambar 4.75 Pembesian Pelat di Lapangan

f. Pengecekan

Setelah pembesian balok dan pelat dianggap selesai, lalu diadakan *checklist*/pemeriksaan untuk tulangan. Adapun yang diperiksa untuk pembesian balok adalah diameter dan jumlah tulangan utama, jarak, jumlah sengkang, ikatan kawat, dan beton *decking*. Untuk pembesian pelat lantai yang diperiksa adalah, penyaluran pembesian pelat terhadap balok, jumlah dan jarak tulangan, perkuatan pada lubang-lubang di pelat lantai, beton *decking*, kaki ayam, dan kebersihannya.

3. Tahap pengecoran balok dan pelat

a. Administrasi pengecoran

- Setelah bekisting dan pembesian siap, engineer mengecek ke lokasi atau zona yang akan dicor.
- Setelah semua siap, engineer membuat izin cor dan mengajukan surat izin ke konsultan pengawas.
- Kemudian tim pengawas melakukan survey ke lokasi yang diajukan dalam surat cor.

- Setelah OK konsultan pengawas menandatangani surat izin cor tersebut.
 - Surat izin cor dikembalikan kepada engineer dan pengecoran boleh dilaksanakan.
- b. Proses pengecoran pelat lantai dan balok pengecoran pelat bersamaan dengan pengecoran balok. Peralatan pendukung untuk pekerjaan pengecoran balok diantaranya yaitu : *concrete pump, truck mixer, vibrator*, lampu kerja, papan perata.
- Pelaksanaan pengecoran balok dan pelat adalah sebagai berikut:
- Untuk pelaksanaan pengecoran balok dan pelat lantai, digunakan *concrete pump* yang menyalurkan beton *ready mix* dari *truck mixer* ke lokasi pengecoran dengan menggunakan pipa pengecoran yang disambung.
 - Alirkan beton *ready mix* sampai ke lokasi pengecoran, lalu padatkan dengan menggunakan *vibrator*.
 - Setelah beton dipadatkan, maka dilakukan perataan permukaan beton dengan menggunakan papan perata
 - Setelah proses pengecoran selesai, maka dilakukan *finishing*.



4. Pembongkaran bekisting

Untuk pelat pembongkaran bekisting dilakukan setelah 4 hari pengecoran sedangkan untuk balok pembongkaran bekisting dilakukan 7 hari setelah pengecoran. Sebagai penunjang sampai pelat benar-benar mengeras.

5. Perawatan (*curing*)

Setelah dilaksanakan pengecoran, maka untuk menjaga agar mutu beton tetap terjaga dilakukan perawatan beton. Perawatan beton dilakukan adalah dengan menyiram/membasahi beton 2 kali selama 1 minggu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam perencanaan struktur gedung perkantoran ini terdapat beberapa perubahan yaitu:
 - a. Jumlah lantai direncanakan 5 lantai dari jumlah awal 8 lantai.
 - b. Letak ruang disejajarkan dengan posisi kolom
 - c. Perubahan denah dan letak ruangan.
2. Perencanaan struktur gedung perkantoran kategori resiko II dan kelas situs SD termasuk kedalam kategori desain seismik C dapat dirancang dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).
3. Dari seluruh pembahasan perhitungan struktur gedung perkantoran yang telah diuraikan dapat diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:
 - a. Komponen pelat
Pelat lantai
Perencanaan dimensi pelat lantai beton bertulang dengan tebal $t = 12$ cm.

Perencanaan penulangan pelat lantai:

Tabel 5.1 Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai 1-5

PELAT LANTAI								
tipe	ly	lx	Ly/lx	tumpuan		Lapangan		Susut & suhu (mm)
	(m)	(m)		X	Y	X	Y	
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	
S1	4,5	4	1,13	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S1a	5	4	1,25	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S1'	4,5	4	1,13	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'a	2,7	2,23	1,2	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'e	2,7	2,23	1,2	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'e	5,3	3,38	1,57	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'f	1,3	1	1,3	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'd	5,3	2,23	2,38	D13-100	-	D13-200	-	D10-200
S2'	7	2	3,5	D13-80	-	D13-100		D10-200

Pelat atap

Perencanaan penulangan pelat atap:

Tabel 5.2 Rekapitulasi Penulangan Pelat Atap

PELAT ATAP								
tipe	ly	lx	Ly/lx	tumpuan		Lapangan		Susut & suhu (mm)
	(m)	(m)		X	Y	X	Y	
	(mm)	(mm)		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	

S1	4,5	4	1,13	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S1a	5	4	1,25	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S1'	4,5	4	1,13	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'a	2,7	2,23	1,2	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'e	2,7	2,23	1,2	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'e	5,3	3,38	1,57	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'f	1,3	1	1,3	D13-200	D13-200	D13-200	D13-200	-
S3'd	5,3	2,23	2,38	D13-100	-	D13-200	-	D10-200
S2'	7	2	3,5	D13-100	-	D13-200		D10-200

b. Komponen tangga

Perencanaan dimensi pelat tangga 23 cm dan dimensi pelat bordes 15 cm.

Perencanaan penulangan tangga:

Tabel 5.3 Rekapitulasi Penulangan Pelat Tangga dan Bordes

Pelat tangga	Arah X	D16-200 mm
	Susut & suhu	D10-200 mm
Pelat bordes	Arah X	D16-90 mm
	Susut & suhu	D10-200 mm

c. Komponen balok

Perencanaan dimensi:

Balok induk 1(BI1) = (450 x 650) mm

Balok induk 2 (BI2) = (400 x 550) mm

Balok induk 3 (BI3) = (350 x 500) mm

Perencanaan penulangan balok:

Tabel 5.4 Rekapitulasi Penulangan Balok

Tipe balok	Tul. torsi	Tul. lentur				Tul. Geser	
		Tumpuan		Lapangan		Tumpuan (mm)	Lapangan (mm)
		Atas	Bawah	Atas	Bawah		
BS	2D22	11D29	11D29	2D29	3D29	D13-50	D13-100
BI1 ₁	2D19	9D25	3D25	2D25	4D25	3 D13-50	3 D13-80
BI1 ₂	2D19	9D25	3D25	2D25	4D25	3 D13-50	3 D13-90
BI1 ₃	2D19	8D25	3D25	2D25	3D25	3 D13-50	3 D13-90
BI1 ₄	2D19	7D25	3D25	2D25	3D25	3 D13-50	3 D13-100
BI1 ₅	2D19	6D25	2D25	2D25	3D25	3 D13-50	3 D13-100
BI1 _{ATAP}	2D19	4D25	2D25	2D25	3D25	D13-100	D13-120
BI2 ₁	2D19	8D25	3D25	2D25	4D25	3 D13-100	3 D13-120
BI2 ₂	2D19	9D25	4D25	2D25	4D25	3 D13-50	3 D13-100
BI2 ₃	2D19	9D25	4D25	2D25	4D25	3 D13-50	3 D13-100
BI2 ₄	2D19	8D25	3D25	2D25	4D25	3 D13-50	3 D13-100
BI2 ₅	2D19	7D25	2D25	2D25	4D25	D13-50	D13-100
BI2 _{ATAP}	2D19	5D25	2D25	2D25	3D25	D13-100	D13-120
BI3 ₁	2D19	7D25	3D25	2D25	3D25	D13-50	D13-100
BI3 ₂	2D19	8D25	4D25	2D25	3D25	3 D13-50	3 D13-100
BI3 ₃	2D19	8D25	3D25	2D25	3D25	D13-50	D13-90

BI3 ₄	2D19	7D25	2D25	2D25	3D25	D13-50	D13-100
BI3 ₅	2D19	6D25	2D25	2D25	3D25	D13-50	D13-100
BI3 _{ATAP}	2D19	4D25	2D25	2D25	3D25	D13-100	D13-120

d. Komponen kolom

Perencanaan dimensi kolom 650 x 650 mm

Perencanaan penulangan kolom:

Tabel 5.5 Rekapitulasi Penulangan Kolom

Lantai	Tipe kolom	Dimensi bentang (cm)	Tinggi (cm)	Tul. Lentur	Tul. Geser
Dasar	K1	65 x 65	300	20D29	D10-100
1	K1	65 x 65	375	20D29	D10-100
2	K1	65 x 65	375	20D29	D10-100
3	K1	65 x 65	355	20D29	D10-100
4	K1	65 x 65	355	20D29	D10-100
5	K1	65 x 65	355	20D29	D10-100

e. Pondasi dan *pile cap*

Kebutuhan pondasi tiap titik:

Tabel 5.6 Rekapitulasi Kebutuhan Tiang Pancang Tiap Titik

No	titik/letak pondasi	jumlah pondasi	tipe pile cap
1	A-7	2	tipe 1

2	B-7	2	tipe 1
3	C-7	3	tipe 2
4	D-7	2	tipe 1
5	E-7	2	tipe 1
6	F-7	2	tipe 1
7	G-7	2	tipe 1
8	A-6	2	tipe 1
9	B-6	3	tipe 2
10	C-6	3	tipe 2
11	D-6	3	tipe 2
12	E-6	3	tipe 2
13	F-6	3	tipe 2
14	G-6	2	tipe 1
15	A-5	2	tipe 1
16	B-5	3	tipe 2
17	C-5	3	tipe 2
18	D-5	3	tipe 2
19	E-5	3	tipe 2

20	F-5	4	tipe 3
21	G-5	3	tipe 2
22	A-4	2	tipe 1
23	B-4	3	tipe 2
24	C-4	3	tipe 2
25	D-4	3	tipe 2
26	E-4	3	tipe 2
27	F-4	4	tipe 3
28	G-4	4	tipe 3
29	A-3	2	tipe 1
30	B-3	3	tipe 2
31	C-3	3	tipe 2
32	D-3	3	tipe 2
33	E-3	3	tipe 2
34	F-3	4	tipe 3
35	G-3	3	tipe 2
36	A-2	2	tipe 1
37	B-2	3	tipe 2

38	C-2	3	tipe 2
39	D-2	3	tipe 2
40	E-2	3	tipe 2
41	F-2	3	tipe 2
42	G-2	2	tipe 1
43	A-1	2	tipe 1
44	B-1	2	tipe 1
45	C-1	3	tipe 2
46	D-1	2	tipe 1
47	E-1	2	tipe 1
48	F-1	2	tipe 1
49	G-1	2	tipe 1

Perencanaan penulangan *pile cap*

Tabel 5.7 Rekapitulasi Penulangan *Pile Cap*

<i>Pile cap tipe 1</i>	Atas	D13-200
	Bawah	D22-200
<i>Pile cap tipe 2</i>	Atas	D13-200
	Bawah	D22-200
<i>Pile cap tipe 3</i>	Atas	D13-200
	Bawah	D22-200

4. Tahapan pelaksanaan balok dan pelat meliputi :
 - a. Tahap persiapan
 - b. Tahap pekerjaan balok dan pelat
 - c. Tahap pengecoran balok dan pelat
 - d. Tahap pembongkaran bekisting
 - e. Tahap perawatan (*curing*)

5.2 Saran

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini, didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam pengumpulan data yang diperlukan untuk perencanaan perhitungan, dibutuhkan data yang lebih lengkap mulai dari gambar struktur dan gambar arsitek serta data-data pendukung lain seperti data tanah dan hasil SPT dari proyek yang bersangkutan.
2. Pada permodelan struktur menggunakan bantuan *software* SAP 2000, panjang kolom seharusnya dimulai dari as *pile cap* hingga as kolom lantai berikutnya. Gambar dapat dilihat pada kode STR-37 nomor gambar 45 dimana ketinggian kolom dimulai dari elevasi -1.10 sampai +3.00. hal ini dapat mempengaruhi hasil dari perhitungan struktur.
3. Penentuan *preliminary design* struktur harus mempertimbangkan efisiensi dari dimensi yang digunakan serta perhitungan penulangan untuk elemen struktur harus mempertimbangkan kecukupan penampang untuk menahan tulangan tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727-2013)*. Jakarta.
2. Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta
3. Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta.
4. Departemen Pekerjaan Umum. 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI)*. Bandung: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Pekerjaan Umum.
5. Imran, Iswandi, Fajar Hendrik. 2014. *Perencanaan Lanjut Struktur Beton Bertulang*. Bandung. ITB.
6. Wang, Chu-Kia, C. Salmon. *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
7. Setiawan, Agus. 2016. *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

Lampiran 1

Data perhitungan pembebanan gempa

- Menghitung pusat kekakuan

Tipe	As	Dimensi		BJ	Bentang	Berat	Jarak		Berat Total	
		b (m)	h (m)	ton/m ³	m	ton	x	y	Wx	Wy
h1	A-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	0	16,2	0
	A-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	0	32,4	0
	A-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	0	48,6	0
	A-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	0	64,8	0
	A-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	0	81	0
	A-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	0	99	0
	B-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	8	0	14,4
	B-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	8	16,2	14,4
	B-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	8	32,4	14,4
	B-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	8	48,6	14,4
	B-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	8	64,8	14,4
	B-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	8	81	14,4

	B-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	8	99	14,4
	C-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	16	0	28,8
	C-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	16	16,2	28,8
	C-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	16	32,4	28,8
	C-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	16	48,6	28,8
	C-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	16	64,8	28,8
	C-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	16	81	28,8
	C-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	16	99	28,8
	D-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	24	0	43,2
	D-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	24	16,2	43,2
	D-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	24	32,4	43,2
	D-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	24	48,6	43,2
	D-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	24	64,8	43,2
	D-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	24	81	43,2
	D-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	24	99	43,2
	E-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	32	0	57,6
	E-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	32	16,2	57,6
	E-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	32	32,4	57,6

E-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	32	48,6	57,6
E-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	32	64,8	57,6
E-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	32	81	57,6
E-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	32	99	57,6
F-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	40	0	72
F-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	40	16,2	72
F-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	40	32,4	72
F-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	40	48,6	72
F-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	40	64,8	72
F-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	40	81	72
F-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	40	99	72
G-1	0,5	0,5	2,4	3	1,8	0	48	0	86,4
G-2	0,5	0,5	2,4	3	1,8	9	48	16,2	86,4
G-3	0,5	0,5	2,4	3	1,8	18	48	32,4	86,4
G-4	0,5	0,5	2,4	3	1,8	27	48	48,6	86,4
G-5	0,5	0,5	2,4	3	1,8	36	48	64,8	86,4
G-6	0,5	0,5	2,4	3	1,8	45	48	81	86,4
G-7	0,5	0,5	2,4	3	1,8	55	48	99	86,4

total	88,2			2394	2116,8
-------	------	--	--	------	--------

X= 27,14

Y= 24,00

Tipe	As	Dimensi		BJ	Bentang	Berat	Jarak		Berat Total	
		b (m)	h (m)	ton/m ³	m	ton	x	y	Wx	Wy
h2	A-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	0	20,25	0
	A-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	0	40,5	0
	A-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	0	60,75	0
	A-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	0	81	0
	A-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	0	101,25	0
	A-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	0	123,75	0
	B-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	8	0	18
	B-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	8	20,25	18
	B-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	8	40,5	18
	B-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	8	60,75	18
	B-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	8	81	18

	B-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	8	101,25	18
	B-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	8	123,75	18
	C-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	16	0	36
	C-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	16	20,25	36
	C-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	16	40,5	36
	C-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	16	60,75	36
	C-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	16	81	36
	C-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	16	101,25	36
	C-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	16	123,75	36
	D-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	24	0	54
	D-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	24	20,25	54
	D-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	24	40,5	54
	D-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	24	60,75	54
	D-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	24	81	54
	D-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	24	101,25	54
	D-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	24	123,75	54
	E-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	32	0	72
	E-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	32	20,25	72

	E-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	32	40,5	72
	E-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	32	60,75	72
	E-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	32	81	72
	E-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	32	101,25	72
	E-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	32	123,75	72
	F-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	40	0	90
	F-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	40	20,25	90
	F-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	40	40,5	90
	F-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	40	60,75	90
	F-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	40	81	90
	F-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	40	101,25	90
	F-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	40	123,75	90
	G-1	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	0	48	0	108
	G-2	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	9	48	20,25	108
	G-3	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	18	48	40,5	108
	G-4	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	27	48	60,75	108
	G-5	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	36	48	81	108
	G-6	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	45	48	101,25	108

	G-7	0,5	0,5	2,4	3,75	2,25	55	48	123,75	108
						110,25			2992,5	2646

X= 27,14

Y= 24,00

Tipe	As	Dimensi		BJ	Bentang	Berat	Jarak		Berat Total	
		b (m)	h (m)	ton/m ³	m	ton	x	y	Wx	Wy
h3-h5	A-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	0	0	0
	A-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	0	19,17	0
	A-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	0	38,34	0
	A-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	0	57,51	0
	A-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	0	76,68	0
	A-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	0	95,85	0
	A-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	0	117,15	0
	B-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	8	0	17,04
	B-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	8	19,17	17,04
	B-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	8	38,34	17,04
	B-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	8	57,51	17,04

B-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	8	76,68	17,04
B-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	8	95,85	17,04
B-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	8	117,15	17,04
C-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	16	0	34,08
C-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	16	19,17	34,08
C-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	16	38,34	34,08
C-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	16	57,51	34,08
C-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	16	76,68	34,08
C-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	16	95,85	34,08
C-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	16	117,15	34,08
D-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	24	0	51,12
D-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	24	19,17	51,12
D-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	24	38,34	51,12
D-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	24	57,51	51,12
D-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	24	76,68	51,12
D-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	24	95,85	51,12
D-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	24	117,15	51,12
E-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	32	0	68,16

E-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	32	19,17	68,16
E-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	32	38,34	68,16
E-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	32	57,51	68,16
E-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	32	76,68	68,16
E-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	32	95,85	68,16
E-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	32	117,15	68,16
F-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	40	0	85,2
F-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	40	19,17	85,2
F-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	40	38,34	85,2
F-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	40	57,51	85,2
F-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	40	76,68	85,2
F-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	40	95,85	85,2
F-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	40	117,15	85,2
G-1	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	0	48	0	102,24
G-2	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	9	48	19,17	102,24
G-3	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	18	48	38,34	102,24
G-4	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	27	48	57,51	102,24
G-5	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	36	48	76,68	102,24

332

	G-6	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	45	48	95,85	102,24
	G-7	0,5	0,5	2,4	3,55	2,13	55	48	117,15	102,24
						104,37			2832,9	2504,88

X= 27,14

Y= 24,00

- Menghitung pusat massa

Lantai dasar

DINDING										
No	Tipe	Dimensi Dinding			Berat Dinding	Berat	Jarak Ke X _o	Jarak Ke Y _o	W.x	W.y
		Arah	Panjang	Tinggi		W	(x)	(y)		
			m	m	kg/m ²	(kg)	m	m	(kg.m)	(kg.m)
1	Lantai 1	X	55	3	60	9900	27,5	0	272250	0
2			55	3	60	9900	27,5	48	272250	475200
3			7,775	3	60	1399,5	15,1125	2,7	21149,94	3778,65
4			10	3	60	1800	50	16	90000	28800
5			2,7	3	60	486	53,65	16,1	26073,9	7824,6
6			2,75	3	60	495	46,375	17,65	22955,63	8736,75
7			2,7	3	60	486	53,65	19,125	26073,9	9294,75

8		7,3	3	60	1314	48,65	20,05	63926, 1	26345, 7
9		2,7	3	60	486	53,65	19,675	26073, 9	9562,0 5
10		4	3	60	720	47	22	33840	15840
11		4	3	60	720	47	26	33840	18720
12		2,7	3	60	486	53,65	26	26073, 9	12636
13		4	3	60	720	47	27,95	33840	20124
14		2,7	3	60	486	53,65	28,3	26073, 9	13753, 8
15		3,8	3	60	684	50,4	29,55	34473, 6	20212, 2
16		1,525	3	60	274,5	47,6625	29,975	13083, 36	8228,1 38
17		1,4	3	60	252	50,5	30,55	12726	7698,6
18		0,7494 76	3	60	134,90 57	50,174738 15	31,3	6768,8 6	4222,5 49

1 9			10	3	60	1800	50	32	90000	57600
2 0			7,775	3	60	1399,5	15,1125	45,3	21149, 94	63397, 35
2 1		Y	55	3	60	9900	0	27,5	0	27225 0
2 2			2,7	3	60	486	11,225	1,35	5455,3 5	656,1
2 3			2,7	3	60	486	11,225	46,65	5455,3 5	22671, 9
2 4			2,7	3	60	486	18	1,35	8748	656,1
2 5			2,7	3	60	486	18	46,65	8748	22671, 9
2 6			2,7	3	60	486	19	1,35	9234	656,1
2 7			2,7	3	60	486	19	46,65	9234	22671, 9
2 8			6	3	60	1080	45	19	48600	20520
2 9			4,05	3	60	729	47,75	18,025	34809, 75	13140, 23

3 0			1,95	3	60	351	47,1	21,025	16532, 1	7379,7 75
3 1			1,95	3	60	351	49,1	21,025	17234, 1	7379,7 75
3 2			13,55	3	60	2439	52,3	22,775	12755 9,7	55548, 23
3 3			1	3	60	180	53,15	16,5	9567	2970
3 4			6	3	60	1080	45	29	48600	31320
3 5			1,95	3	60	351	47,1	26,975	16532, 1	9468,2 25
3 6			1,95	3	60	351	49,1	26,975	17234, 1	9468,2 25
3 7			2,025	3	60	364,5	48,5	28,9625	17678, 25	10556, 83
3 8			2,45	3	60	441	49,8	30,775	21961, 8	13571, 78
3 9			2,45	3	60	441	51,2	30,775	22579, 2	13571, 78
4 0			0,7	3	60	126	50,55	31,65	6369,3	3987,9

4 1			55	3	60	9900	48	27,5	47520 0	27225 0
Jumlah						64943, 91			20799 55	16253 42

Sloof											
No	tipe	dimensi sloof			panjang (m)	Bj beton (Kg/m ³)	Berat	Jarak Ke Xo	jarak Ke Yo	W.x	W.y
		arah	b	h			(W)	(x)	(y)		
			(m)	(m)			(Kg)	(m)	(m)	(kg.m)	(kg.m)
1	BS	x	0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	0	106177 5	0
2	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	8	106177 5	308880
3	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	16	106177 5	617760
4	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	24	106177 5	926640
5	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	32	106177 5	123552 0
6	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	40	106177 5	154440 0
7	BS		0,4 5	0,6 5	55	2400	3861 0	27,5	48	106177 5	185328 0
8	BS		0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	53,65	19,675	376623	138118 ,5

9	BS	y	0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	0	24	0	808704
1 0	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	9	24	303264	808704
1 1	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	18	24	606528	808704
1 2	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	27	24	909792	808704
1 3	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	36	24	121305 6	808704
1 4	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	45	24	151632 0	808704
1 5	BS		0,4 5	0,6 5	48	2400	3369 6	55	24	185328 0	808704
1 6	BS		0,4 5	0,6 5	8	2400	5616	13,5	1,35	75816	7581,6
1 7	BS		0,4 5	0,6 5	8	2400	5616	13,5	46,65	75816	261986 ,4
Jumlah							5243 94			143629 20	125550 95

KOLOM											
No	tipe	dimensi kolom			panjang (m)	Bj beton (Kg/m ³)	Berat (W) (Kg)	Jarak Ke Xo (x)	jarak Ke Yo (y)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
		arah	b (m)	h (m)				(m)	(m)		
1	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	0	0	0
2	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	0	27378	0
3	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	0	54756	0
4	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	0	82134	0
5	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	0	10951 2	0
6	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	0	13689 0	0
7	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	0	16731 0	0
8	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	8	0	24336

9	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	8	27378	24336
1 0	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	8	54756	24336
1 1	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	8	82134	24336
1 2	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	8	10951 2	24336
1 3	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	8	13689 0	24336
1 4	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	8	16731 0	24336
1 5	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	16	0	48672
1 6	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	16	27378	48672
1 7	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	16	54756	48672
1 8	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	16	82134	48672
1 9	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	16	10951 2	48672

2 0	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	16	13689 0	48672
2 1	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	16	16731 0	48672
2 2	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	24	0	73008
2 3	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	24	27378	73008
2 4	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	24	54756	73008
2 5	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	24	82134	73008
2 6	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	24	10951 2	73008
2 7	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	24	13689 0	73008
2 8	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	24	16731 0	73008
2 9	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	32	0	97344
3 0	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	32	27378	97344

3 1	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	32	54756	97344
3 2	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	32	82134	97344
3 3	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	32	10951 2	97344
3 4	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	32	13689 0	97344
3 5	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	32	16731 0	97344
3 6	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	40	0	12168 0
3 7	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	40	27378	12168 0
3 8	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	40	54756	12168 0
3 9	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	40	82134	12168 0
4 0	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	40	10951 2	12168 0
4 1	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	40	13689 0	12168 0

4 2	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	40	16731 0	12168 0
4 3	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	0	48	0	14601 6
4 4	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	9	48	27378	14601 6
4 5	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	18	48	54756	14601 6
4 6	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	27	48	82134	14601 6
4 7	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	36	48	10951 2	14601 6
4 8	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	45	48	13689 0	14601 6
4 9	K1		0,6 5	0,6 5	3	2400	3042	55	48	16731 0	14601 6
5 0	K T		0,3	0,3	3	2400	648	18	2,7	11664	1749,6
5 1	K T		0,3	0,3	3	2400	648	18	45,3	11664	29354, 4
5 2	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	17,7	29160	11469, 6

5 3	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	19,8	29160	12830, 4
5 4	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47,65	17,7	30877, 2	11469, 6
5 5	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47,65	19,8	30877, 2	12830, 4
5 6	K T		0,3	0,3	3	2400	648	52,3	19,6	33890, 4	12700, 8
5 7	K T		0,3	0,3	3	2400	648	55	19,6	35640	12700, 8
5 8	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	20,1	29160	13024, 8
5 9	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	21,95	29160	14223, 6
6 0	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47	20,1	30456	13024, 8
6 1	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47	21,95	30456	14223, 6
6 2	K L		0,3	0,3	3	2400	648	49	20,1	31752	13024, 8
6 3	K L		0,3	0,3	3	2400	648	49	21,95	31752	14223, 6

64	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	27,9	29160	18079, 2
65	K L		0,3	0,3	3	2400	648	45	26,05	29160	16880, 4
66	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47	26,05	30456	16880, 4
67	K L		0,3	0,3	3	2400	648	47	27,9	30456	18079, 2
68	K L		0,3	0,3	3	2400	648	49	26,05	31752	16880, 4
69	K L		0,3	0,3	3	2400	648	49	27,9	31752	18079, 2
Jumlah							1620 18			46242 65	38691 22

Lantai 1	Berat	W _x	W _y
total	751355,9	21067140	18049558
xa	28,03882909		
ya	24,02264736		

Lantai 1-Atap

DINDING										
No	tipe	dimensi dinding			berat dinding	berat	jarak ke X _o	jarak ke Y _o	W.x	W.y
		arah	panjang	tinggi		W	(x)	(y)		
			m	m	kg/m ²	(kg)	m	m	(kg.m)	(kg.m)
1	Lantai 1	X	55	3,55	60	11715	27,5	0	322162,5	0
2			55	3,55	60	11715	27,5	48	322162,5	562320
3			7,775	3,55	60	1656,075	15,1125	2,7	25027,43	4471,403
4			10	3,55	60	2130	50	16	106500	34080
5			2,7	3,55	60	575,1	53,65	16,1	30854,12	9259,11
6			2,75	3,55	60	585,75	46,375	17,65	27164,16	10338,49
7			2,7	3,55	60	575,1	53,65	19,125	30854,12	10998,79

8		7,3	3,55	60	1554,9	48,65	20,05	75645, 89	31175, 75
9		2,7	3,55	60	575,1	53,65	19,675	30854, 12	11315, 09
10		4	3,55	60	852	47	22	40044	18744
11		4	3,55	60	852	47	26	40044	22152
12		2,7	3,55	60	575,1	53,65	26	30854, 12	14952, 6
13		4	3,55	60	852	47	27,95	40044	23813, 4
14		2,7	3,55	60	575,1	53,65	28,3	30854, 12	16275, 33
15		3,8	3,55	60	809,4	50,4	29,55	40793, 76	23917, 77
16		1,525	3,55	60	324,82 5	47,6625	29,975	15481, 97	9736,6 29
17		1,4	3,55	60	298,2	50,5	30,55	15059, 1	9110,0 1
18		0,7494 76	3,55	60	159,63 85	50,17473 815	31,3	8009,8 18	4996,6 84

1 9			10	3,55	60	2130	50	32	106500	68160
2 0			7,775	3,55	60	1656,0 75	15,1125	45,3	25027, 43	75020, 2
2 1		Y	55	3,55	60	11715	0	27,5	0	322162 ,5
2 2			2,7	3,55	60	575,1	11,225	1,35	6455,4 98	776,38 5
2 3			2,7	3,55	60	575,1	11,225	46,65	6455,4 98	26828, 42
2 4			2,7	3,55	60	575,1	18	1,35	10351, 8	776,38 5
2 5			2,7	3,55	60	575,1	18	46,65	10351, 8	26828, 42
2 6			2,7	3,55	60	575,1	19	1,35	10926, 9	776,38 5
2 7			2,7	3,55	60	575,1	19	46,65	10926, 9	26828, 42
2 8			6	3,55	60	1278	45	19	57510	24282
2 9			4,05	3,55	60	862,65	47,75	18,025	41191, 54	15549, 27

3 0			1,95	3,55	60	415,35	47,1	21,025	19562, 99	8732,7 34
3 1			1,95	3,55	60	415,35	49,1	21,025	20393, 69	8732,7 34
3 2			13,55	3,55	60	2886,1 5	52,3	22,775	150945 ,6	65732, 07
3 3			1	3,55	60	213	53,15	16,5	11320, 95	3514,5
3 4			6	3,55	60	1278	45	29	57510	37062
3 5			1,95	3,55	60	415,35	47,1	26,975	19562, 99	11204, 07
3 6			1,95	3,55	60	415,35	49,1	26,975	20393, 69	11204, 07
3 7			2,025	3,55	60	431,32 5	48,5	28,9625	20919, 26	12492, 25
3 8			2,45	3,55	60	521,85	49,8	30,775	25988, 13	16059, 93
3 9			2,45	3,55	60	521,85	51,2	30,775	26718, 72	16059, 93
4 0			0,7	3,55	60	149,1	50,55	31,65	7537,0 05	4719,0 15

4 1			55	3,55	60	11715	48	27,5	562320	322162 ,5
Jumlah						76850, 29			246128 0	192332 1

BALOK											
No	tipe	dimensi balok			panjang (m)	Bj beton (Kg/m ³)	Berat (W) (Kg)	Jarak Ke Xo (x) (m)	jarak Ke Yo (y) (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
		arah	b	h							
			(m)	(m)							
1	BI ₂	X	0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	0	534600	0
2	BI ₁		0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	0	351000	0
3	BI ₂		0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	8	534600	190080
4	BI ₁		0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	8	351000	56160
5	BI ₂		0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	16	534600	380160
6	BI ₁		0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	16	351000	112320
7	BI ₂		0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	24	534600	570240
8	BI ₁		0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	24	351000	168480

9	BI 2	0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	32	534600	760320
1 0	BI 1	0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	32	351000	224640
1 1	BI 2	0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	40	534600	950400
1 2	BI 1	0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	40	351000	280800
1 3	BI 2	0,4	0,5 5	45	2400	23760	22,5	48	534600	1140480
1 4	BI 1	0,4 5	0,6 5	10	2400	7020	50	48	351000	336960
1 5	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	4,5	4	13122	11664
1 6	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	13,5	2,7	39366	7873,2
1 7	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	22,5	4	65610	11664
1 8	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	31,5	4	91854	11664
1 9	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	40,5	4	118098	11664

2 0	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	50	4	210000	16800
2 1	BA 2	0,3	0,4 5	45	2400	14580	22,5	12	328050	174960
2 2	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	5	12	21000	50400
2 3	BA 2	0,3	0,4 5	45	2400	14580	22,5	20	328050	291600
2 4	BA 1	0,3 5	0,5	7,3	2400	3066	48,65	20	149160 ,9	61320
2 5	BA 1	0,3 5	0,5	7,3	2400	3066	48,65	22	149160 ,9	67452
2 6	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	50	26	210000	109200
2 7	BA 2	0,3	0,4 5	45	2400	14580	22,5	28	328050	408240
2 8	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	50	28	210000	117600
2 9	BA 2	0,3	0,4 5	45	2400	14580	22,5	36	328050	524880
3 0	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	50	36	210000	151200

3 1	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	4,5	44	13122	128304
3 2	BA 2	0,3	0,4 5	9	2400	2916	13,5	45,3	39366	132094, 8
3 3	BA 2	0,3	0,4 5	18	2400	5832	27	44	157464	256608
3 4	BA 1	0,3 5	0,5	10	2400	4200	50	44	210000	184800
3 5	BK	0,2	0,3	1	2400	144	18,5	2,7	2664	388,8
3 6	BK	0,2	0,3	2,75	2400	396	46,375	17,65	18364, 5	6989,4
3 7	BK	0,2	0,3	2,7	2400	388,8	53,65	17	20859, 12	6609,6
3 8	BK	0,2	0,3	2,7	2400	388,8	53,65	19,125	20859, 12	7435,8
3 9	BA 3	0,3	0,4	2,7	2400	777,6	53,65	19,675	41718, 24	15299,2 8
4 0	BK	0,2	0,3	2,5	2400	360	51,05	29,525	18378	10629
4 1	BK	0,2	0,3	1	2400	144	50,3	30,525	7243,2	4395,6

4 2	BK		0,2	0,3	1	2400	144	50,3	31,275	7243,2	4503,6
4 3	BK		0,2	0,3	1	2400	144	18,5	45	2664	6480
4 6	BI 3	Y	0,3 5	0,5	48	2400	20160	0	24	0	483840
4 7	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	9	24	181440	483840
4 8	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	18	24	362880	483840
4 9	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	27	24	544320	483840
5 0	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	36	24	725760	483840
5 1	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	45	24	907200	483840
5 2	BI 3		0,3 5	0,5	48	2400	20160	55	24	110880 0	483840
5 3	BA 3		0,3	0,4	48	2400	13824	4,5	24	62208	331776
5 4	BA 3		0,3	0,4	32	2400	9216	13,5	24	124416	221184

5 5	BA 3	0,3	0,4	48	2400	13824	22,5	24	311040	331776
5 6	BA 3	0,3	0,4	48	2400	13824	27	24	373248	331776
5 7	BA 3	0,3	0,4	48	2400	13824	31,5	24	435456	331776
5 8	BA 3	0,3	0,4	16	2400	4608	50	8	230400	36864
5 9	BA 3	0,3	0,4	16	2400	4608	50	40	230400	184320
6 0	BA 3	0,3	0,4	8	2400	2304	11,25	4	25920	9216
6 1	BA 3	0,3	0,4	2,7	2400	777,6	13,5	1,35	10497, 6	1049,76
6 2	BA 3	0,3	0,4	5,3	2400	1526,4	14,625	5,65	22323, 6	8624,16
6 3	BA 3	0,3	0,4	4,5	2400	1296	19	2,25	24624	2916
6 4	BA 3	0,3	0,4	8	2400	2304	11,25	44	25920	101376
6 5	BA 3	0,3	0,4	2,7	2400	777,6	13,5	46,35	10497, 6	36041,7 6

6 6	BA 3	0,3	0,4	5,3	2400	1526,4	14,625	42,65	22323, 6	65100,9 6
6 7	BA 3	0,3	0,4	4,5	2400	1296	19	47,25	24624	61236
6 8	BK	0,2	0,3	1,5	2400	216	46	16,75	9936	3618
6 9	BA 3	0,3	0,4	4	2400	1152	48	18	55296	20736
7 0	BA 3	0,3	0,4	16	2400	4608	52	24	239616	110592
7 1	BK	0,2	0,3	1	2400	144	53	16,5	7632	2376
7 2	BL	0,3	0,4	2	2400	576	47	20	27072	11520
7 3	BL	0,3	0,4	2	2400	576	49	20	28224	11520
7 4	BL	0,3	0,4	2	2400	576	47	26	27072	14976
7 5	BL	0,3	0,4	2	2400	576	49	26	28224	14976
7 6	BK	0,2	0,3	4	2400	576	49,8	30	28684, 8	17280

7 7	BK		0,2	0,3	0,5	2400	72	50,8	31,75	3657,6	2286
7 8	BK		0,2	0,3	2,5	2400	360	51,25	29,25	18450	10530
Jumlah							57033 1,2			157968 80	1362608 1,7

KOLOM											
No	tipe	dimensi kolom			panjang (m)	Bj beton (Kg/m ³)	Berat (W) (Kg)	Jarak Ke Xo (x) (m)	jarak Ke Yo (y) (m)	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
		arah	b	h							
			(m)	(m)							
1	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	0	0	0
2	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	0	32397, 3	0
3	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	0	64794, 6	0
4	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	0	97191, 9	0
5	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	0	12958 9,2	0
6	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	0	16198 6,5	0
7	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	0	19798 3,5	0
8	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	8	0	28797, 6

9	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	8	32397, 3	28797, 6
1 0	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	8	64794, 6	28797, 6
1 1	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	8	97191, 9	28797, 6
1 2	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	8	12958 9,2	28797, 6
1 3	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	8	16198 6,5	28797, 6
1 4	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	8	19798 3,5	28797, 6
1 5	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	16	0	57595, 2
1 6	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	16	32397, 3	57595, 2
1 7	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	16	64794, 6	57595, 2
1 8	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	16	97191, 9	57595, 2
1 9	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	16	12958 9,2	57595, 2

2 0	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	16	16198 6,5	57595, 2
2 1	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	16	19798 3,5	57595, 2
2 2	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	24	0	86392, 8
2 3	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	24	32397, 3	86392, 8
2 4	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	24	64794, 6	86392, 8
2 5	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	24	97191, 9	86392, 8
2 6	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	24	12958 9,2	86392, 8
2 7	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	24	16198 6,5	86392, 8
2 8	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	24	19798 3,5	86392, 8
2 9	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	32	0	11519 0,4
3 0	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	32	32397, 3	11519 0,4

3 1	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	32	64794, 6	11519 0,4
3 2	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	32	97191, 9	11519 0,4
3 3	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	32	12958 9,2	11519 0,4
3 4	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	32	16198 6,5	11519 0,4
3 5	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	32	19798 3,5	11519 0,4
3 6	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	40	0	14398 8
3 7	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	40	32397, 3	14398 8
3 8	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	40	64794, 6	14398 8
3 9	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	40	97191, 9	14398 8
4 0	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	40	12958 9,2	14398 8
4 1	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	40	16198 6,5	14398 8

4 2	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	40	19798 3,5	14398 8
4 3	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	0	48	0	17278 5,6
4 4	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	9	48	32397, 3	17278 5,6
4 5	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	18	48	64794, 6	17278 5,6
4 6	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	27	48	97191, 9	17278 5,6
4 7	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	36	48	12958 9,2	17278 5,6
4 8	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	45	48	16198 6,5	17278 5,6
4 9	K1		0,6 5	0,6 5	3,55	2400	3599,7	55	48	19798 3,5	17278 5,6
5 0	K T		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	18	2,7	13802, 4	2070,3 6
5 1	K T		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	18	45,3	13802, 4	34736, 04
5 2	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	17,7	34506	13572, 36

5 3	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	19,8	34506	15182, 64
5 4	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47,65	17,7	36538, 02	13572, 36
5 5	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47,65	19,8	36538, 02	15182, 64
5 6	K T		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	52,3	19,6	40103, 64	15029, 28
5 7	K T		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	55	19,6	42174	15029, 28
5 8	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	20,1	34506	15412, 68
5 9	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	21,95	34506	16831, 26
6 0	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47	20,1	36039, 6	15412, 68
6 1	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47	21,95	36039, 6	16831, 26
6 2	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	49	20,1	37573, 2	15412, 68
6 3	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	49	21,95	37573, 2	16831, 26

6 4	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	27,9	34506	21393, 72
6 5	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	45	26,05	34506	19975, 14
6 6	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47	26,05	36039, 6	19975, 14
6 7	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	47	27,9	36039, 6	21393, 72
6 8	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	49	26,05	37573, 2	19975, 14
6 9	K L		0,3	0,3	3,55	2400	766,8	49	27,9	37573, 2	21393, 72
							19172 1,3			54720 47	45784 61

PELAT											
No	tip e	dimensi pelat			teb al pel at (m)	Bj beton (Kg/m ³)	Berat	Jarak Ke Xo	jarak Ke Yo	W.x (kg.m)	W.y (kg.m)
		ara h	P	L			(W)	(x)	(y)		
			(m)	(m)			(Kg)	(m)	(m)		
1	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	2	11664	10368
2	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	6	11664	31104
3	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	10	11664	51840
4	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	14	11664	72576
5	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	18	11664	93312
6	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	22	11664	114048
7	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	2,25	26	11664	134784

8	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	2,25	30	11664	155520
9	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	2,25	34	11664	176256
10	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	2,25	38	11664	196992
11	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	2,25	42	11664	217728
12	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	2,25	46	11664	238464
13	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	2	34992	10368
14	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	6	34992	31104
15	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	10	34992	51840
16	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	14	34992	72576
17	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	18	34992	93312
18	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	6,75	22	34992	114048

19	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	26	34992	134784
20	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	30	34992	155520
21	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	34	34992	176256
22	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	38	34992	196992
23	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	42	34992	217728
24	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	6,75	46	34992	238464
25	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	11,25	10	58320	51840
26	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	11,25	14	58320	72576
27	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	11,25	18	58320	93312
28	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	11,25	22	58320	114048
29	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	11,25	26	58320	134784

30	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	11,25	30	58320	155520
31	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	11,25	34	58320	176256
32	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	11,25	38	58320	196992
33	S3		2,2 25	2,7	0,1 2	2400	1730,1 6	10,1125	1,35	17496, 243	2335,71 6
34	S3		2,2 75	2,7	0,1 2	2400	1769,0 4	12,8625	1,35	22754, 277	2388,20 4
35	S3		2,2 25	5,3	0,1 2	2400	3396,2 4	10,1125	5,35	34344, 477	18169,8 84
36	S3		3,3 75	5,3	0,1 2	2400	5151,6	12,9125	5,35	66520, 035	27561,0 6
37	S3		3,3 75	5,3	0,1 2	2400	5151,6	16,2875	5,35	83906, 685	27561,0 6
38	S3		2,2 25	5,3	0,1 2	2400	3396,2 4	10,1125	42,65	34344, 477	144849, 636
39	S3		2,2 25	2,7	0,1 2	2400	1730,1 6	10,1125	46,65	17496, 243	80711,9 64
40	S3		3,3 75	5,3	0,1 2	2400	5151,6	12,9125	42,65	66520, 035	219715, 74

41	S3		2,2 75	2,7	0,1 2	2400	1769,0 4	12,8625	46,65	22754, 277	82525,7 16
42	S3		3,3 75	5,3	0,1 2	2400	5151,6	16,2875	42,65	83906, 685	219715, 74
43	S2		1	1,3	0,1 2	2400	374,4	18,5	3,35	6926,4	1254,24
44	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	10	81648	51840
45	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	14	81648	72576
46	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	18	81648	93312
47	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	22	81648	114048
48	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	26	81648	134784
49	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	30	81648	155520
50	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	34	81648	176256
51	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	15,75	38	81648	196992

52	S1		3,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	4032	20,25	2	81648	8064
53	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	6	104976	31104
54	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	10	104976	51840
55	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	14	104976	72576
56	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	18	104976	93312
57	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	22	104976	114048
58	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	26	104976	134784
59	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	30	104976	155520
60	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	34	104976	176256
61	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	38	104976	196992
62	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	20,25	42	104976	217728

63	S2		1	1,3	$\frac{0,1}{2}$	2400	374,4	18,5	44,5	6926,4	16660,8
64	S1		3,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	4032	20,25	46	81648	185472
65	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	2	128304	10368
66	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	6	128304	31104
67	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	10	128304	51840
68	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	14	128304	72576
69	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	18	128304	93312
70	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	22	128304	114048
71	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	26	128304	134784
72	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	30	128304	155520
73	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	34	128304	176256

74	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	38	128304	196992
75	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	42	128304	217728
76	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	24,75	46	128304	238464
77	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	2	151632	10368
78	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	6	151632	31104
79	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	10	151632	51840
80	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	14	151632	72576
81	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	18	151632	93312
82	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	22	151632	114048
83	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	26	151632	134784
84	S1		4,5	4	$\frac{0,1}{2}$	2400	5184	29,25	30	151632	155520

85	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	29,25	34	151632	176256
86	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	29,25	38	151632	196992
87	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	29,25	42	151632	217728
88	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	29,25	46	151632	238464
89	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	2	174960	10368
90	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	6	174960	31104
91	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	10	174960	51840
92	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	14	174960	72576
93	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	18	174960	93312
94	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	22	174960	114048
95	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	26	174960	134784

96	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	30	174960	155520
97	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	34	174960	176256
98	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	38	174960	196992
99	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	42	174960	217728
100	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	33,75	46	174960	238464
101	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	2	198288	10368
102	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	6	198288	31104
103	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	10	198288	51840
104	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	14	198288	72576
105	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	18	198288	93312
106	S1		4,5	4	$0,1_2$	2400	5184	38,25	22	198288	114048

10 7	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	26	198288	134784
10 8	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	30	198288	155520
10 9	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	34	198288	176256
11 0	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	38	198288	196992
11 1	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	42	198288	217728
11 2	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	46	198288	238464
11 3	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	2	221616	10368
11 4	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	6	221616	31104
11 5	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	10	221616	51840
11 6	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	14	221616	72576
11 7	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	18	221616	93312

11 8	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	22	221616	114048
11 9	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	23	221616	119232
12 0	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	26	221616	134784
12 1	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	30	221616	155520
12 2	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	38	221616	196992
12 3	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	42	221616	217728
12 4	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	46	221616	238464
12 5	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	30	198288	155520
12 6	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	34	198288	176256
12 7	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	38	198288	196992
12 8	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	42	198288	217728

12 9	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	38,25	46	198288	238464
13 0	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	30	221616	155520
13 1	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	34	221616	176256
13 2	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	38	221616	196992
13 3	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	42	221616	217728
13 4	S1		4,5	4	0,1 2	2400	5184	42,75	46	221616	238464
13 5	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	2	273600	11520
13 6	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	6	273600	34560
13 7	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	10	273600	57600
13 8	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	14	273600	80640
13 9	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	2	302400	11520

14 0	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	6	302400	34560
14 1	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	10	302400	57600
14 2	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	14	302400	80640
14 3	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	34	273600	195840
14 4	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	38	273600	218880
14 5	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	42	273600	241920
14 6	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	47,5	46	273600	264960
14 7	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	34	302400	195840
14 8	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	38	302400	218880
14 9	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	42	302400	241920
15 0	S1		5	4	0,1 2	2400	5760	52,5	46	302400	264960

15 1	S1		1,5	1,5	0,1 2	2400	648	46,75	16,75	30294	10854
15 2	S1		4,5 5	4	0,1 2	2400	5241,6	50,025	18	262211 ,04	94348,8
15 3	S1		2,7	2,1 25	0,1 2	2400	1652,4	53,65	18,0625	88651, 26	29846,4 75
15 4	S1		3,3	2	0,1 2	2400	1900,8	50,7	13	96370, 56	24710,4
15 5	S2		7	2	0,1 2	2400	4032	48,5	23	195552	92736
15 6	S2		7	2	0,1 2	2400	4032	48,5	25	195552	100800
15 7	S1		3,3	2	0,1 2	2400	1900,8	50,7	27	96370, 56	51321,6
15 8	S1		2,7	2	0,1 2	2400	1555,2	53,65	25	83436, 48	38880
15 9	S1		2,7	2	0,1 2	2400	1555,2	53,65	27	83436, 48	41990,4
16 0	S1		4,7	4	0,1 2	2400	5414,4	47,35	30	256371 ,84	162432
16 1	S1		2,7	4	0,1 2	2400	3110,4	53,65	30	166872 ,96	93312

16 2	S1		2,6	1,5	0,1 2	2400	1123,2	51	26,75	57283, 2	30045,6
16 3	S1		1,5	1	0,1 2	2400	432	50,45	30	21794, 4	12960
16 4	S1		1,1	2,5	0,1 2	2400	792	51,75	30,75	40986	24354
							79084 0,1			222368 71	1965607 3

Lantai 2-atap	Berat	W _x	W _y
total	1361171	38033751	33282155
xa	27,9419288		
ya	24,45111445		

- Menghitung berat struktur bangunan
 1. Lantai Dasar (W0)
 2. Lantai dasar-1 (W1)
 3. Lantai 1-2 (W2)
 4. Lantai 2-3 (W3)
 5. Lantai 3-4 (W4)
 6. Lantai 4-5 (W5)
 7. Lantai Atap (W6)

	Beban	Item	Tip e	BJ (kg/m ³)	beban (kg)	beban (kg/m ²)	b (m)	h (m)	L (m)	Luas (m ²)	n (bua h)	W (kg)
W 0	Mati	Kolom	K1	2400		-	0,6 5	0,6 5	1,5	-	49	74529
			KT	2400		-	0,3	0,3	1,5	-	4	1296
			KL	2400		-	0,3	0,3	1,5	-	15	4860
		Sloof	BS	2400			0,4 5	0,6 5	55		7	27027 0
			BA	2400			0,4 5	0,6 5	26		1	18252

			BS	2400			0,4 5	0,6 5	854, 95		1	60017 4,9
		Tangga	uta ma 1	2400			1,2 5	0,1 2	3,56		3	3844,8
	mati tambah an	dinding				60		1,5	307, 225			27650, 25
		railing			89						5	445
		spesi (2cm) u/ tangga				40				44,5		1780
		keramik u/ tangga				16,5				44,5		734,25
	hidup	tangga				479	1,2 5		3,56			2131,5 5
	JUMLAH											10059 67,75
W 1	Mati	kolom	K1	2400			0,6 5	0,6 5	3,37 5		49	16769 0,25
			KT	2400			0,3	0,3	3,37 5		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	3,37 5		15	10935
		Balok	BI1	2400				0,4 5	0,6 5	10		7

			BI2	2400			0,4	0,5 5	45		7	16632 0
			BI3	2400			0,3 5	0,5	48		7	14112 0
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	10		6	25200
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	7,3		2	6132
			BA 2	2400			0,3	0,4 5	45		6	87480
			BA 3	2400			0,3	0,4	48		6	82944
			BA 3	2400			0,3	0,4	8		2	4608
			BA 3	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592
			BA 3	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6
			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064

			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7	2,1 25	0,12		1	1652,4
			S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
			S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6
			S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080
			S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
			S2	2400			1	2,5	0,12		1	720
			S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8
			S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
			S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
			S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8

			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
		Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,56		3	3844,8
				2400			1,2 5	0,1 2	3,75		3	4050
	Mati tambah an	pemipaan				25				2526, 673		63166, 825
		ME				19				2526, 673		48006, 787
		plafond				8,5				2526, 673		21476, 7205
		penggantun g plafond				10				2526, 673		25266, 73
		railing			89						5	445
		dinding				60		3,3 75	307, 225			62213, 0625
		spesi (2cm)				40				2526, 673		10106 6,92

		Keramik				16,5				2526,673		41690,1045
		spesi (2cm) u/ tangga				40				49,1875		1967,5
		keramik u/ tangga				16,5				49,1875		811,59375
		spesi (2cm) u/ bordes				40				3,375		135
		Keramik u/bordes				16,5				3,375		55,6875
	Hidup	ruang kantor				240				1450,6		104443,2
		koridor				383				1076,073		123640,7877
		tangga			479		1,25		3,75			2245,3125
		tangga			479		1,25		3,56			2131,55
		bordes			479		1,25		2,7			1616,625
JUMLAH												2089743,536
W2	Mati	kolom	K1	2400			0,65	0,65	3,375		49	167690,25

			KT	2400			0,3	0,3	$3,37_5$		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	$3,37_5$		15	10935
		Balok	BI1	2400			$0,4_5$	$0,6_5$	10		7	49140
			BI2	2400			0,4	$0,5_5$	45		7	16632_0
			BI3	2400			$0,3_5$	0,5	48		7	14112_0
			BA ₁	2400			$0,3_5$	0,5	10		6	25200
			BA ₁	2400			$0,3_5$	0,5	7,3		2	6132
			BA ₂	2400			0,3	$0,4_5$	45		6	87480
			BA ₃	2400			0,3	0,4	48		6	82944
			BA ₃	2400			0,3	0,4	8		2	4608
			BA ₃	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592
			BA ₃	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6

			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064
			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7 25	2,1 25	0,12		1	1652,4
			S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
			S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6
			S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080
			S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
			S2	2400			1	2,5	0,12		1	720
			S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8

			S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
			S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
			S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
		Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,75		3	4050
				2400			1,2 5	0,1 2	3,75		3	4050
	Mati tambah an	pemipaan				25				2526, 673		63166, 825
		ME				19				2526, 673		48006, 787
		plafond				8,5				2526, 673		21476, 7205
		penggantun g plafond				10				2526, 673		25266, 73

W 3	Mati	kolom	K1	2400			0,6 5	0,6 5	3,37 5		49	16769 0,25
			KT	2400			0,3	0,3	3,37 5		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	3,37 5		15	10935
		Balok	BI1	2400			0,4 5	0,6 5	10		7	49140
			BI2	2400			0,4	0,5 5	45		7	16632 0
			BI3	2400			0,3 5	0,5	48		7	14112 0
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	10		6	25200
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	7,3		2	6132
			BA 2	2400			0,3	0,4 5	45		6	87480
			BA 3	2400			0,3	0,4	48		6	82944
			BA 3	2400			0,3	0,4	8		2	4608
			BA 3	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592

			BA 3	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6
			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064
			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7 25	2,1 25	0,12		1	1652,4
			S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
			S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6
			S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080
			S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
			S2	2400			1	2,5	0,12		1	720

			S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8
			S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
			S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
			S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
		Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,75		3	4050
				2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
	Mati tambah an	pemipaan				25				2526, 673		63166, 825
		ME				19				2526, 673		48006, 787
		plafond				8,5				2526, 673		21476, 7205

		penggantun g plafond				10				2526, 673		25266, 73
		railing			89						5	445
		dinding				60		3,6 5	307, 225			67282, 275
		spesi (2cm) u/ tangga				40				9,312 5		372,5
		keramik u/ tangga				16,5				9,312 5		153,65 625
		spesi (2cm) u/ bordes				40				3,375		135
		Keramik u/bordes				16,5				3,375		55,687 5
	Hidup	ruang kantor				240				1450, 6		10444 3,2
		koridor				383				1076, 073		12364 0,7877
		tangga				479	1,2 5		3,75			2245,3 125
		tangga				479	1,2 5		3,7			2215,3 75
		bordes				479	1,2 5		2,7			1616,6 25

JUMLAH												19500 37,811
W 4	Mati	kolom	K1	2400			0,6 5	0,6 5	3,37 5		49	16769 0,25
			KT	2400			0,3	0,3	3,37 5		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	3,37 5		15	10935
		Balok	BI1	2400			0,4 5	0,6 5	10		7	49140
			BI2	2400			0,4	0,5 5	45		7	16632 0
			BI3	2400			0,3 5	0,5	48		7	14112 0
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	10		6	25200
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	7,3		2	6132
			BA 2	2400			0,3	0,4 5	45		6	87480
			BA 3	2400			0,3	0,4	48		6	82944
			BA 3	2400			0,3	0,4	8		2	4608

			BA 3	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592
			BA 3	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6
			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064
			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7	2,1 25	0,12		1	1652,4
			S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
			S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6
			S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080

			S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
			S2	2400			1	2,5	0,12		1	720
			S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8
			S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
			S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
			S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
		Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
				2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
	Mati tambah an	pemipaan				25				2526, 673		63166, 825
		ME				19				2526, 673		48006, 787

		plafond				8,5				2526,673		21476,7205
		penggantun g plafond				10				2526,673		25266,73
		railing			89						5	445
		dinding				60		3,55	307,225			65438,925
		spesi (2cm) u/ tangga				40				9,25		370
		keramik u/ tangga				16,5				9,25		152,625
		spesi (2cm) u/ bordes				40				3,375		135
		Keramik u/bordes				16,5				3,375		55,6875
	Hidup	ruang kantor				240				1450,6		104443,2
		koridor				383				1076,073		123640,7877
		tangga				479	1,25		3,7			2215,375
		tangga				479	1,25		3,7			2215,375

		bordes				479	1,2 5		2,7			1616,6 25
JUMLAH												19481 06,993
W 5	Mati	kolom	K1	2400			0,6 5	0,6 5	3,37 5		49	16769 0,25
			KT	2400			0,3	0,3	3,37 5		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	3,37 5		15	10935
		Balok	BI1	2400			0,4 5	0,6 5	10		7	49140
			BI2	2400			0,4	0,5 5	45		7	16632 0
			BI3	2400			0,3 5	0,5	48		7	14112 0
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	10		6	25200
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	7,3		2	6132
			BA 2	2400			0,3	0,4 5	45		6	87480
			BA 3	2400			0,3	0,4	48		6	82944

			BA 3	2400			0,3	0,4	8		2	4608
			BA 3	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592
			BA 3	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6
			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064
			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7 25	2,1 25	0,12		1	1652,4
			S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
			S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6

			S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080
			S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
			S2	2400			1	2,5	0,12		1	720
			S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8
			S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
			S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
			S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
			S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
		Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
				2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
		pemipaan				25				2526, 673		63166, 825

	Mati tambah an	ME				19				2526, 673		48006, 787
		plafond				8,5				2526, 673		21476, 7205
		penggantun g plafond				10				2526, 673		25266, 73
		railing			89						5	445
		dinding				60		3,5 5	307, 225			65438, 925
		spesi (2cm) u/ tangga				40				9,25		370
		keramik u/ tangga				16,5				9,25		152,62 5
		spesi (2cm) u/ bordes				40				3,375		135
		Keramik u/bordes				16,5				3,375		55,687 5
	Hidup	ruang kantor				240				1450, 6		10444 3,2
		koridor				383				1076, 073		12364 0,7877
		tangga				479	1,2 5		3,7			2215,3 75

		tangga				479	1,2 5		3,7			2215,3 75
		bordes				479	1,2 5		2,7			1616,6 25
JUMLAH												19481 06,993
W 6	Mati	kolom	K1	2400			0,6 5	0,6 5	3,37 5		49	16769 0,25
			KT	2400			0,3	0,3	3,37 5		4	2916
			KL	2400			0,3	0,3	3,37 5		15	10935
		Balok	BI1	2400			0,4 5	0,6 5	10		7	49140
			BI2	2400			0,4	0,5 5	45		7	16632 0
			BI3	2400			0,3 5	0,5	48		7	14112 0
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	10		6	25200
			BA 1	2400			0,3 5	0,5	7,3		2	6132
			BA 2	2400			0,3	0,4 5	45		6	87480

			BA 3	2400			0,3	0,4	48		6	82944
			BA 3	2400			0,3	0,4	8		2	4608
			BA 3	2400			0,3	0,4	4,5		2	2592
			BA 3	2400			0,3	0,4	2,7		1	777,6
			BK	2400			0,2	0,3	27		1	3888
			BL	2400			0,3	0,4	2		4	2304
		Pelat	S1	2400			4,5	4	0,12		108	55987 2
			S1	2400			3,5	4	0,12		2	8064
			S1	2400			5	4	0,12		16	92160
			S1	2400			4,6	4	0,12		1	5299,2
			S1	2400			3,3	2	0,12		1	1900,8
			S1	2400			2,7	2	0,12		2	3110,4
			S1	2400			4,5 5	4,5	0,12		1	5896,8
			S1	2400			2,7	2,1 25	0,12		1	1652,4

		S1	2400			1,5	1,5	0,12		1	648
		S2	2400			7,3	2	0,12		2	8409,6
		S2	2400			2,5	1,5	0,12		1	1080
		S2	2400			1,5	1	0,12		1	432
		S2	2400			1	2,5	0,12		1	720
		S2	2400			1	1,3	0,12		2	748,8
		S3	2400			2,2 5	2,7	0,12		2	3499,2
		S3	2400			2,2 75	2,7	0,12		2	3538,0 8
		S3	2400			2,2 5	5,3	0,12		2	6868,8
		S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
		S3	2400			3,3 75	5,3	0,12		2	10303, 2
	Bordes		2400			1,2 5	2,7	0,12		3	2916
	Tangga		2400			1,2 5	0,1 2	3,7		3	3996
	pemipaan				25				2526, 673		63166, 825

	Mati tambah an	ME				19				2526, 673		48006, 787
		plafond				8,5				2526, 673		21476, 7205
		penggantun g plafond				10				2526, 673		25266, 73
		railing			89						5	445
		dinding				60		1,7 75	307, 225			32719, 4625
		waterproofi ng				5				2526, 673		12633, 365
		spesi (2cm) u/ tangga				40				4,625		185
		keramik u/ tangga				16,5				4,625		76,312 5
		spesi (2cm) u/ bordes				40				3,375		135
		Keramik u/bordes				16,5				3,375		55,687 5
	Hidup	atap				96				2526, 673		24256 0,608
		tangga				479	1,2 5		3,7			2215,3 75

Lampiran 2

- Acian

DATA TEKNIS	
SPESIFIKASI TEKNIS	
Bentuk	<i>Powder</i>
Berat kemasan	30 kg/sak
Kebutuhan air	11-12 liter/sak
Rasio pencampuran	2,5 bagian <i>powder</i> dan 1 bagian air
<i>Compressive strength</i>	7-10 Mpa @28 days (ASTM C-109)
<i>Pull off</i>	> 0.3 N/mm ² @28 days (BS EN 1015-12)
Ketebalan aplikasi	1,5-3 mm
<i>Coverage</i>	+ 10 m ² ; dengan ketebalan 2-3 mm + 20 m ² ; dengan ketebalan 1,5 mm
<i>Density of mixture</i>	+ 1,9 gr/cm ³
<i>Pot life</i> adukan	+ 90 menit
Waktu pengeringan	minimum 5 hari
Warna	<i>Grey cement</i>

- Plester

DATA TEKNIS	
SPESIFIKASI TEKNIS	
Bentuk	<i>Powder</i>
Berat kemasan	50 kg/sak
Kebutuhan air	10 - 11 liter/sak
Rasio pencampuran	3,5 bagian <i>powder</i> dan 1 bagian air
<i>Compressive strength</i>	7-10 Mpa @28 days (ASTM C-109)
<i>Pull off</i>	> 0.3 N/mm ² @28 days (BS EN 1015-12)
Ketebalan aplikasi	10-15 mm
<i>Coverage</i>	+ 2,5 m ² ; dengan ketebalan 10 mm
<i>Density of mixture</i>	+ 2,0 gr/cm ³
<i>Pot life</i> adukan	+ 60 menit
Waktu pengeringan	minimum 3 hari

- Bata Ringan

Spesifikasi Teknis Bata Ringan Citicon

Panjang, l [mm]	: 600
Tinggi, h [mm]	: 200 ; 300 ; 400
Tebal, t [mm]	: 75 ; 100 ; 125 ; 150 ; 175 ; 200

Berat jenis kering, $[\rho]$: 520 kg/m ³
Berat jenis normal, $[\rho]$: 600 kg/m ³
Kuat tekan, $[\sigma]$: $\geq 4,0$ N/mm ²
Konduktifitas termis, $[\lambda]$: 0.14 W/mK

Tebal	mm	75	100	125	150	175	200
Luas Dinding / m ²	m ²	13.33	10.00	8.00	6.67	5.71	5.00
Isi / m ³	Blok	111.11	83.33	66.67	55.56	47.62	41.67

- Spesi

DATA TEKNIS

SPESIFIKASI TEKNIS

Bentuk	<i>Powder</i>
Berat kemasan	50 kg/sak
Kebutuhan air	9 - 10 liter/sak
Rasio pencampuran	3,5 bagian <i>powder</i> dan 1 bagian air
<i>Compressive strength</i>	10-15 Mpa @28 days (ASTM C-109)
Ketebalan aplikasi	10-30 mm
<i>Coverage</i>	+ 2,5 m ² ; untuk ketebalan 10 mm
<i>Density of mixture</i>	+ 2,0 gr/cm ³
<i>Pot life</i> adukan	+ 60 menit
Waktu pengeringan	minimum 5 hari

- Keramik

ARWANA Ceramic Tiles Packing Information

SIZE (cm)	QTY. PER/BOX	M ² /BOX	wt.KG/BOX
20 X 20	25	1	13 - 14
20 X 25	20	1	12
30 X 30	11	1	14 - 15
40 X 40	6	1	15.5 - 16.5

- Brosur tiang pancang

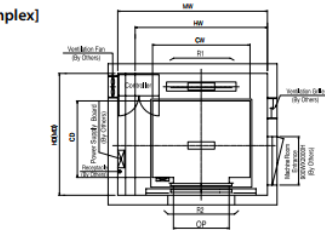
PRESTRESSED CONCRETE SPUN PILES SPECIFICATION											
Concrete Compressive Strength $f_c' = 52 \text{ MPa}$ (Cube 600 kg/cm^2)											
Size (mm)	Thickness Wall (t)	Cross Section (cm^2)	Section Inertia (cm^4)	Unit Weight (kg/m)	Class	Bending Moment		Allowable Compression (ton)	Decompression Tension (ton)	Length of Pile ** (m)	
						Crack * (ton.m)	Ultimate (ton.m)				
300	60	452.39	34,607.78	113	A2	2.50	3.75	72.60	23.11	6 - 12	
					A3	3.00	4.50	70.75	29.86	6 - 13	
					B	3.50	6.30	67.50	41.96	6 - 14	
					C	4.00	8.00	65.40	49.66	6 - 15	
350	65	581.98	62,162.74	145	A1	3.50	5.25	93.10	30.74	6 - 13	
					A3	4.20	6.30	89.50	37.50	6 - 14	
					B	5.00	9.00	86.40	49.93	6 - 15	
					C	6.00	12.00	85.00	60.87	6 - 16	
400	75	765.76	106,488.95	191	A2	5.50	8.25	121.10	38.62	6 - 14	
					A3	6.50	9.75	117.60	45.51	6 - 15	
					B	7.50	13.50	114.40	70.27	6 - 16	
					C	9.00	18.00	111.50	80.94	6 - 17	
450	80	929.91	166,570.38	232	A1	7.50	11.25	149.50	39.28	6 - 14	
					A2	8.50	12.75	145.80	53.39	6 - 15	
					A3	10.00	15.00	143.80	66.57	6 - 16	
					B	11.00	19.80	139.10	78.84	6 - 17	
500	90	1,159.25	255,324.30	290	C	12.50	25.00	134.90	100.45	6 - 18	
					A1	10.50	15.75	185.30	54.56	6 - 15	
					A2	12.50	18.75	181.70	68.49	6 - 16	
					A3	14.00	21.00	178.20	88.00	6 - 17	
600	100	1,570.80	510,508.81	393	B	15.00	27.00	174.90	94.13	6 - 18	
					C	17.00	34.00	169.00	122.04	6 - 19	
					A1	17.00	25.50	252.70	70.52	6 - 16	
					A2	19.00	28.50	249.00	77.68	6 - 17	
800	120	2,563.54	1,527,869.60	641	A3	22.00	33.00	243.20	104.94	6 - 18	
					B	25.00	45.00	238.30	131.10	6 - 19	
					C	29.00	58.00	229.50	163.67	6 - 20	
					A1	40.00	60.00	415.00	119.34	6 - 20	
1000 ***	140	3,782.48	3,589,571.20	946	A2	46.00	69.00	406.10	151.02	6 - 21	
					A3	51.00	76.50	399.17	171.18	6 - 22	
					B	55.00	99.00	388.61	215.80	6 - 23	
					C	65.00	130.00	368.17	290.82	6 - 24	
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	A1	75.00	112.50	613.52	169.81	6 - 22	
					A2	82.00	123.00	601.27	215.16	6 - 23	
					A3	93.00	139.50	589.66	258.19	6 - 24	
					B	105.00	189.00	575.33	311.26	6 - 24	
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	C	120.00	240.00	555.23	385.70	6 - 24	
					A1	120.00	180.00	802.80	221.30	6 - 24	
					A2	130.00	195.00	794.50	252.10	6 - 24	
					A3	145.00	217.50	778.60	311.00	6 - 24	
1200 ***	150	4,948.01	6,958,136.85	1,237	B	170.00	306.00	751.90	409.60	6 - 24	
					C	200.00	400.00	721.50	522.20	6 - 24	

Lift

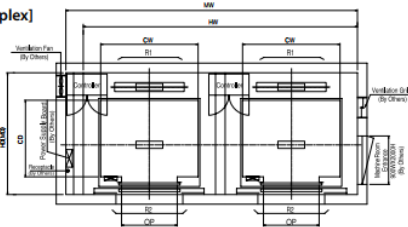
Technical Data

I Hoistway & Machine Room Plan

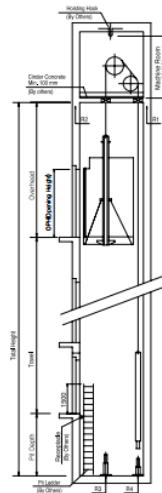
[Simplex]



[Duplex]



I Hoistway Section



I Overhead, Pit & Machine Room Height

Application Regulation [CODE]	Speed (m/s)	Load (kg)	Travel (mm)	Overhead (mm)	Pit Depth (mm)	Machine Room HT	Required Hook Strength (kg)
Standard / EN	1	450~1000	Travel100	4200	1400	2300	3000
		1350	Travel100	4300			4500
		1150/1600	Travel100	4300			4500
		1150/1600	Travel100	4650			4500
	1.5	450~1000	Travel100	4400	1450	2300	3000
		1350	Travel100	4400			4500
		1150/1600	Travel100	4400			4500
		1150/1600	Travel100	4650			4500
	1.75	450~1000	Travel100	4500	1600	2300	3000
		1350	Travel100	4500			4500
		1150/1600	Travel100	4500			4500
		1150/1600	Travel100	4850			4500
MS2021	1	410~1025	Travel100	4200	1400	2400	3000
		1365	Travel100	4300			4500
		1160/1365	Travel100	4300			4500
		1160/1365	Travel100	4650			4500
	1.5	410~1025	Travel100	4400	1450	2400	3000
		1365	Travel100	4400			4500
		1160/1365	Travel100	4400			4500
		1160/1365	Travel100	4650			4500
	1.75	410~1025	Travel100	4500	1600	2400	3000
		1365	Travel100	4500			4500
		1160/1365	Travel100	4500			4500
		1160/1365	Travel100	4850			4500
Standard / EN	2	800~1600	Travel130	5100	1900	2300	4500
	2.5	800~1600	Travel130	5300	2200	2300	4500

Technical Data

I Layout Dimensions | Speed : 1.5, 1.75 m/s

[Standard]

Speed (m/s)	Capacity		Opening Width (mm)	Car Size		Hoistway Size				Machine Room Size				Reaction Load			
						Simplex		Duplex		Simplex		Duplex		Machine Room		Pit	
	Person	Load(kg)		CW	CD	HW	HD	HW	HD	MW	MD	MW	MD	R1	R2	R3	R4
1.5	8	550	800	1400	1030	1800	1700	3750	1700	1800	1700	3750	1700	4200	2800	7150	5300
	9	600	800	1400	1130	1800	1750	3750	1750	1800	1750	3750	1750	4500	3100	7500	5500
	10	680	800	1400	1250	1800	1900	3750	1900	1800	1900	3750	1900	4900	3400	8150	5900
	11	750	800	1400	1350	1800	2000	3750	2000	1800	2000	3750	2000	5250	3700	8600	6150
	13	900	900	1600	1350	2000	2000	4150	2000	2000	2000	4150	2000	5750	4100	9850	6900
~	15	1000	900	1600	1500	2000	2150	4150	2150	2000	2150	4150	2150	6150	4300	10550	7300
	17	1150	1000	1800	1500	2350	2200	4850	2200	2350	2200	4850	2200	9400	7750	15450	11500
1.75	20	1350	1100	2000	1350	2550	2050	5250	2050	2550	2050	5250	2050	10000	8250	16850	12300
			1000	1800	1700	2350	2400	4850	2400	2350	2400	4850	2400				
	24	1600	1100	2000	1500	2550	2200	5250	2200	2550	2200	5250	2200	11500	8700	18550	13300

(Unit : mm)

Lampiran 3
Data Tanah N-SPT
Data gempa dari www.puskim.go.id



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

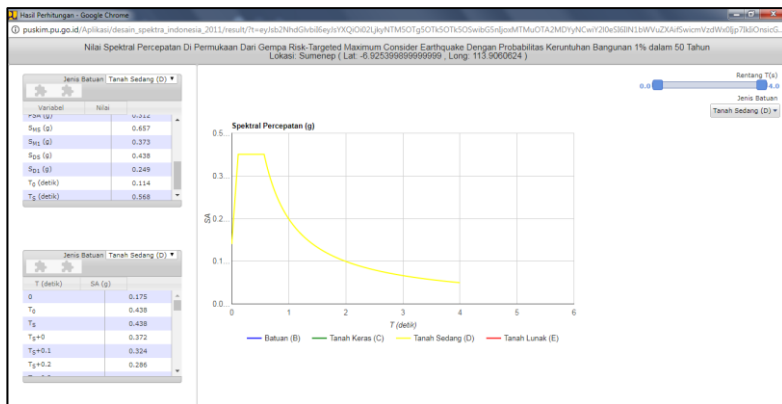
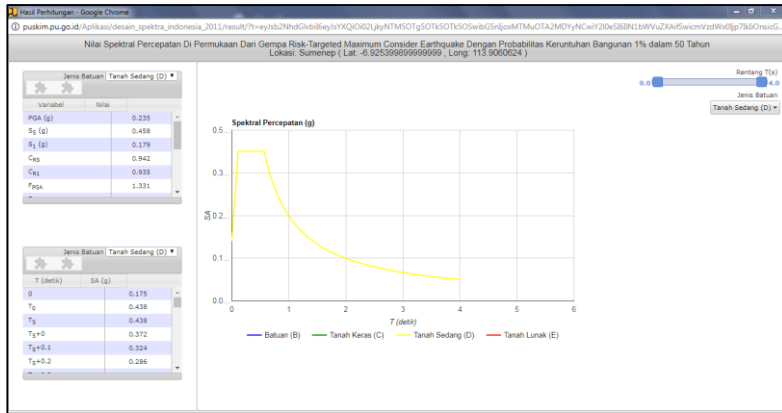
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
LABORATORIUM TRANSPORTASI DAN GEOTEKNIK

Kampus ITS Manyar, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp : 031 5981006, 5947637 , Fax : 031 5981006

Email : labtransgeo.its@gmail.com

[illegible]





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diploimasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Adhitya Satriawan R. 2 Satria Kusuma
NRP : 1 1011150000058 2 1011150000060
Judul Tugas Akhir : Desain Ulang Gedung Perkantoran 5 lantai di Sumenep dengan Metode SRPMN
Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, M.T.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	8. Februari 2018	Asistensi Preliminary Design : 1. Perbaiki Penulisan				
		2. Penentuan S ₁ dari puskin.go.id ditamplakan		B	C	K
		3. Gambar denah pembalokan dibuat		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		4. Keterangan pd gambar plat				
2.	15 Februari 2018	1. Pd penulangan atap diberi kontrol retak				
		2. Klasifikasi pelat (A, B, C, ...)		B	C	K
		3. Gambar tangga		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.	23 Februari 2018	1. Penulangan pelat tumpuan ditambah (S ₃) kumpit lain				
				B	C	K
4.	10 April 2018	Beban lift : 1. Gambar permodelan mektek		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2. Posisi x				
		Perhitungan nomen tangga		B	C	K
		1. Metode cross, rumus MF BC		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Penggambaran tulangan				
		1. Kalau beda sedikit, disamakan				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.
B = Lebih cepat dari jadwal
C = Sesuai dengan jadwal
K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.eptmaspil-sts.its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 Adhitya Sutriawan 2 Satria Kusuma
NRP : 1 10111500000058 2 10111500000090
Judul Tugas Akhir : Desain Ulang Gedung Perkantoran 5 lantai
 di Sumenep dengan Metode SRPMM

Dosen Pembimbing : Ir. Srie Subekti, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5	20-04-2018	1. Ketinggian tiang pancang ditambah dengan 0,5 m untuk panjang penyaluran		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2. Gambar potongan pond pile cap		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3. Keterangan notasi di daftar notasi dan rumus perhitungan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		4. Belajar metode pembelian tiang pancang		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		5. Belajar tahap dan cara dalam metode pelaksanaan dan gambar dilengkapi		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	31-05-2018	1. Penulangan kolom dibuat sama tiap lantai		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2. balok dicek momennya		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	04-06-2018	1. Penggambaran denah plat per lantai		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		2. Notasi diperbesar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		3. Revisi Gambar penulangan plat		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket

- B = Lebih cepat dari jadwal
- C = Sesuai dengan jadwal
- K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS , Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

:1 ADHITYA SATRIAWAN R

2 SATRIA KUSUMA

NRP

: 1 10111500000058



2 1011500000090

Judul Tugas Akhir

- DESAIN ULANG GEDUNG PERKANTORAN 5 LANTAI DI SUMENEP DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMUKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

Dosen Pembimbing

: R. SRI SUBEKTI, MT.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan
8	28-06-2018	-Revisi gambar : - Detail Pondasi bulat dan kolom diperbesar		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		-Revisi penulangan plat (Notasi)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- — — — — Plecap (Notasi)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Kerjakan PPT (Diagram alir)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
9	29.06.2018	- Dimensi di potongan tangga		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Gambar yang ditampilkan sudah dimodifikasi		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		-- Background PPT		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Cari tahu cara pesan tiang pancang		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Belajar Teori (SNII, dll)		<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
		- Belajar TA		B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				B C K <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
				<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Adhitya Satriawan Raharjo, dilahirkan di Kediri, 04 Oktober 1996, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Mojoroto 1 Kediri tahun 2009, SMP Negeri 2 Kediri tahun 2012, SMA Negeri 1 Kediri tahun 2015. Setelah lulus, penulis melanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi dengan menjadi mahasiswa Diploma III Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2015 hingga 2018. Selama menjadi

mahasiswa, penulis sempat aktif mengikuti kegiatan kemahasiswaan selama 1 tahun. Penulis pernah menduduki posisi sebagai staff *Research and Technology Department* HMDS tahun 2016-2017. Penulis memiliki hobi bersepeda, dan mendengarkan musik. Penulis dapat dihubungi melalui email adhitya.satriawan@gmail.com



Satria Kusuma, lahir di Mojokerto, pada tanggal 11 bulan November tahun 1995 menamatkan pendidikan menengah atas di SMAN 1 Mojosari kemudian memilih untuk kursus Bahasa Inggris selama 6 bulan. Penulis menjadi mahasiswa aktif Institut Teknologi Sepuluh Nopember program studi DIII Teknik Infrastruktur Sipil pada tahun 2015 dengan konsentrasi Bangunan Gedung. Selama perkuliahan, penulis aktif di bidang media dan informasi dengan mengikuti berbagai

kepanitiaan dan organisasi. Penulis menjabat sebagai Kepala Departemen Media dan Informasi Himpunan Mahasiswa Diploma Sipil 2017/2018. Penulis memiliki ketertarikan di bidang astronomi, ilmu pengetahuan, sejarah dan seni. Penulis yang mengidolakan Elon Musk memiliki *motto* “Tetaplah merasa bodoh, sehingga kamu selalu memiliki hal untuk dipelajari”. Penulis dapat dihubungi melalui email satkusuma@gmail.com